

EXPRESS MAIL NO. EV 327 133 573 US

DATE OF DEPOSIT 9/30/03

Our File No. 9281-4659

Client No. N US02096

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of:)
Naoya Hasegawa et al.)
Serial No. To be Assigned)
Filing Date: Herewith)
For Magnetic Detecting Element Having)
Antiferromagnetic Film Having Predetermined)
Space in Track Width Direction and Method for)
Manufacturing the Same)

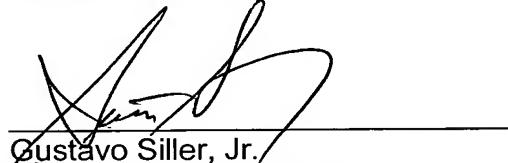
SUBMISSION OF CERTIFIED COPIES OF PRIORITY DOCUMENTS

Mail Stop Patent Application
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Dear Sir:

Transmitted herewith are certified copies of priority documents Japanese
Patent Application Nos. 2002-293350, filed October 7, 2002, and 2003-048716, filed
February 26, 2003 for the above-named U.S. application.

Respectfully submitted,



Gustavo Siller, Jr.
Registration No. 32,305
Attorney for Applicants

BRINKS HOFER GILSON & LIONE
P.O. BOX 10395
CHICAGO, ILLINOIS 60610
(312) 321-4200

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2003年 2月26日
Date of Application:

出願番号 特願2003-048716
Application Number:

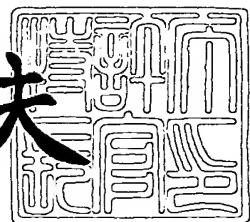
[ST. 10/C] : [JP 2003-048716]

出願人 アルプラス電気株式会社
Applicant(s):

2003年 8月14日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



【書類名】 特許願
【整理番号】 02A309AL
【提出日】 平成15年 2月26日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 H01L 43/08
【発明の名称】 磁気検出素子及びその製造方法
【請求項の数】 38
【発明者】
【住所又は居所】 東京都大田区雪谷大塚1番7号 アルプス電気株式会社
社内
【氏名】 長谷川 直也
【発明者】
【住所又は居所】 東京都大田区雪谷大塚1番7号 アルプス電気株式会社
社内
【氏名】 梅津 英治
【発明者】
【住所又は居所】 東京都大田区雪谷大塚1番7号 アルプス電気株式会社
社内
【氏名】 斎藤 正路
【発明者】
【住所又は居所】 東京都大田区雪谷大塚1番7号 アルプス電気株式会社
社内
【氏名】 井出 洋介
【特許出願人】
【識別番号】 000010098
【氏名又は名称】 アルプス電気株式会社
【代表者】 片岡 政隆

【代理人】

【識別番号】 100085453

【弁理士】

【氏名又は名称】 野▲崎▼ 照夫

【選任した代理人】

【識別番号】 100121049

【弁理士】

【氏名又は名称】 三輪 正義

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2002-293350

【出願日】 平成14年10月 7日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 041070

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0202405

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 磁気検出素子及びその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に少なくとも第1の反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層及びフリー磁性層を積層形成した多層膜と、前記フリー磁性層の磁化制御を行うための磁化制御層とを有し、

前記固定磁性層は、トラック幅方向に延び、前記第1の反強磁性層に接する側の第1の磁性層と、前記第1の磁性層と膜厚方向で対向する第2の磁性層と、前記第1の磁性層と第2の磁性層間に介在する非磁性中間層とを有して構成され、前記第1の磁性層と第2の磁性層は互いに磁化が反平行状態にあり、

前記第1の反強磁性層はトラック幅方向に所定間隔の間欠部を介して、前記第1の磁性層のトラック幅方向の両側端部に膜厚方向から接して設けられ、

前記間欠部での前記フリー磁性層の磁化の方向と前記第2の磁性層内の磁化の方向とで電気抵抗が変化することを特徴とする磁気検出素子。

【請求項2】 前記多層膜は下から、フリー磁性層、非磁性材料層、固定磁性層及び第1の反強磁性層の順に積層され、前記フリー磁性層の下にトラック幅方向に所定の間隔を空け、前記フリー磁性層のトラック幅方向の両側端部下に設けられた前記磁化制御層が第2の反強磁性層を有して構成され、前記固定磁性層を構成する第1の磁性層の両側端部上に前記第1の反強磁性層が設けられる請求項1記載の磁気検出素子。

【請求項3】 前記磁化制御層が永久磁石層で構成され、前記フリー磁性層の両側端部と前記永久磁石層とは直接接触している請求項2記載の磁気検出素子。

【請求項4】 前記第1反強磁性層に空けられた前記間隔のトラック幅方向における最小寸法はWPで、前記磁化制御層に空けられた前記間隔のトラック幅方向における最小寸法はWf1であり、前記Wf1は前記WPと同じ寸法かそれよりも小さい請求項2又は3に記載の磁気検出素子。

【請求項5】 前記多層膜は下から、フリー磁性層、非磁性材料層、固定磁性層及び第1の反強磁性層の順に積層され、少なくとも前記フリー磁性層及び非

磁性材料層のトラック幅方向の両側には前記磁化制御層となる永久磁石層が設けられ、前記非磁性材料層上に設けられる固定磁性層の一部あるいは全部が、前記非磁性材料層上から前記永久磁石層の上側にかけて形成され、前記固定磁性層を構成する第1の磁性層の両側端部上に前記第1の反強磁性層が設けられる請求項1記載の磁気検出素子。

【請求項6】 少なくとも前記フリー磁性層及び非磁性材料層のトラック幅方向の両側には、前記永久磁石層を有する素子両側領域がトラック幅方向に延びて存在し、前記非磁性材料層上に設けられる固定磁性層が、前記非磁性材料層上から前記素子両側領域上にかけて形成される請求項5記載の磁気検出素子。

【請求項7】 少なくとも前記フリー磁性層、非磁性材料層並びに固定磁性層を構成する第2の磁性層及び非磁性中間層のトラック幅方向の両側には、前記永久磁石層を有する素子両側領域がトラック幅方向に延びて存在し、前記非磁性中間層上に設けられる前記固定磁性層を構成する第1の磁性層が、前記非磁性中間層上から前記素子両側領域上にかけて形成される請求項5記載の磁気検出素子。

【請求項8】 前記第1反強磁性層に空けられた前記間隔のトラック幅方向における最小寸法はWPで、前記フリー磁性層のトラック幅方向における最小幅寸法はWf2であり、前記Wf2は前記WPと同じ寸法かそれよりも小さい請求項5ないし7のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項9】 前記多層膜は下から、第1の反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層及びフリー磁性層の順に積層され、前記第1の反強磁性層はトラック幅方向に所定間隔の間欠部を介して前記第1の磁性層のトラック幅方向の両側端部下に設けられる請求項1記載の磁気検出素子。

【請求項10】 前記第1の反強磁性層の下に設けられた前記基板のトラック幅方向の両側には所定深さの凹み部が設けられ、前記凹み部内に前記第1の反強磁性層が設けられて、前記第1の反強磁性層のトラック幅方向に所定間隔の間欠部が空けられる請求項9記載の磁気検出素子。

【請求項11】 前記フリー磁性層上に、トラック幅方向に所定の間隔を空け、前記フリー磁性層の両側端部上に設けられた前記磁化制御層が第2の反強磁

性層を有して構成される請求項9又は10に記載の磁気検出素子。

【請求項12】 前記第1反強磁性層に空けられた前記間隔のトラック幅方向における最小寸法はWPで、前記磁化制御層に空けられた前記間隔のトラック幅方向における最小寸法はWf3であり、前記Wf3は前記WPと同じ寸法かそれよりも小さい請求項11記載の磁気検出素子。

【請求項13】 前記フリー磁性層のトラック幅方向の両側に前記磁化制御層となる永久磁石層が設けられ、前記永久磁石層の下面是少なくとも前記固定磁性層よりも上側に位置する請求項9又は10に記載の磁気検出素子。

【請求項14】 前記第1反強磁性層に空けられた前記間隔のトラック幅方向における最小寸法はWPで、前記フリー磁性層のトラック幅方向における最小幅寸法はWf4であり、前記Wf4は前記WPと同じ寸法かそれよりも小さい請求項13記載の磁気検出素子。

【請求項15】 前記WPは0.2μm以下である請求項4、8、12または14に記載の磁気検出素子。

【請求項16】 電極層が磁気検出素子のトラック幅方向における両側端部上に設けられ、前記電極層から前記多層膜に向けてセンス電流を流すことによって形成されるセンス電流磁界の向きは、前記固定磁性層を構成する磁性層の単位面積当たりの合成磁気モーメントの方向と一致している請求項1ないし15のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項17】 前記間欠部には、両側の第1の反強磁性層と同じ組成の非磁性金属層が前記第1の磁性層と接して設けられており、前記間欠部での前記非磁性金属層は、前記第1の反強磁性層よりも薄く形成された不規則結晶構造の層である請求項1ないし16のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項18】 前記第1の磁性層内の結晶と、前記非磁性金属層の結晶は、エピタキシャルまたはヘテロエピタキシャルな状態であり、前記固定磁性層の記録媒体との対向面側の端面が開放されている請求項17記載の磁気検出素子。

【請求項19】 前記非磁性金属層は、前記固定磁性層の第1の磁性層側の界面付近あるいは全領域において面心立方格子(fcc)構造をとり、前記界面と平行な方向に、{111}面として表される等価な結晶面が優先配向している請

求項18記載の磁気検出素子。

【請求項20】 前記非磁性金属層の膜厚は、5Å以上50Å以下である請求項18または19に記載の磁気検出素子。

【請求項21】 前記PtMn合金中のPt含有量、または、X-Mn合金中のX元素の含有量は、55原子%以上95原子%以下である請求項18ないし20のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項22】 少なくとも前記非磁性金属層と膜厚方向で対向する前記固定磁性層の第1の磁性層の中央部は、前記非磁性金属層側の界面付近あるいは全領域において面心立方格子(fcc)構造をとり、前記界面と平行な方向に、{111}面として表される等価な結晶面が優先配向している請求項18ないし21のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項23】 前記固定磁性層の第1の磁性層は、CoまたはCo_xFe_y(y≤20, x+y=100)からなる請求項22に記載の磁気検出素子。

【請求項24】 少なくとも前記非磁性金属層と膜厚方向で対向する前記固定磁性層の第1の磁性層の中央部は、前記非磁性金属層側の界面付近あるいは全領域において体心立方格子(bcc)構造をとり、前記界面と平行な方向に、{110}面として表される等価な結晶面が優先配向している請求項18ないし21のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項25】 前記固定磁性層の第1の磁性層は、Co_xFe_y(y≥20, x+y=100)からなる請求項24記載の磁気検出素子。

【請求項26】 少なくとも前記非磁性金属層と膜厚方向で対向する前記固定磁性層の第1の磁性層の中央部の、前記非磁性金属層側の界面付近は面心立方格子(fcc)構造をとり、前記界面と平行な方向に、{111}面として表される等価な結晶面が優先配向しており、前記非磁性中間層側の界面付近は体心立方格子(bcc)構造をとり、前記界面と平行な方向に、{110}面として表される等価な結晶面が優先配向している請求項18ないし21のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項27】 前記固定磁性層の第1の磁性層の、前記非磁性金属層側の界面付近の組成はCo_xFe_y(y≤20 x+y=100)またはCoであり

、前記非磁性中間層側の界面付近の組成は $\text{Co}_x \text{Fe}_y$ ($y \geq 20$ $x + y = 100$) である請求項 26 記載の磁気検出素子。

【請求項 28】 前記固定磁性層の第1の磁性層は、前記非磁性金属層側の界面から前記非磁性中間層側の界面に向かうに連れて、Fe 濃度が徐々に大きくなる請求項 27 記載の磁気検出素子。

【請求項 29】 前記非磁性金属層の前記界面に平行な面内方向における最近接原子間距離と、少なくとも前記非磁性金属層と膜厚方向で対向する前記固定磁性層の第1の磁性層の中央部の最近接原子間距離の差を、前記第1の磁性層の最近接原子間距離で割った値が、0.05 以上 0.20 以下である請求項 18 ないし 28 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 30】 前記第1の磁性層は磁歪定数が正の値である請求項 18 ないし 29 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 31】 Cr または α -Ta または Rh からなる電極層が磁気検出素子のトラック幅方向における両側端部上に設けられる請求項 18 ないし 30 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 32】 基板上に下から、フリー磁性層、非磁性材料層、固定磁性層及び第1の反強磁性層の順に積層された多層膜と、前記フリー磁性層の磁化制御を行うための磁化制御層とを有する磁気検出素子の製造方法において、

(a) 前記固定磁性層をトラック幅方向に延びる第2の磁性層と、前記第2の磁性層上に非磁性中間層を介して前記第2の磁性層と膜厚方向で対向する第1の磁性層とで形成し、さらに前記第1の磁性層上に前記第1の反強磁性層と同じ組成であり且つ前記第1の反強磁性層よりも膜厚が薄く、不規則結晶構造の層である非磁性金属層を形成し、前記非磁性金属層の上に非磁性層を形成する工程と、

(b) 前記非磁性層を除去し、前記非磁性金属層の両側端部上に前記非磁性金属層よりも厚い膜厚の上側反強磁性層を形成し、前記非磁性金属層と上側反強磁性層とで前記第1の反強磁性層を構成する工程と、

(c) 磁場中アニールを施して、前記第1の反強磁性層と第1の磁性層の両側端部間に交換結合磁界を生じさせ、前記第1の磁性層と第2の磁性層を反平行状態に磁化固定する工程と、を有することを特徴とする磁気検出素子の製造方法。

【請求項33】 前記(b)工程に代えて以下の工程を有する請求項18記載の磁気検出素子の製造方法。

(d) 前記非磁性層を除去した後、前記第1の反強磁性層と同じ組成の非磁性金属層上に前記非磁性金属層よりも厚い膜厚の上側反強磁性層を形成し、前記非磁性金属層と上側反強磁性層とで前記第1の反強磁性層を構成する工程と、

(e) 前記第1の反強磁性層の上側にトラック幅方向に所定の間隔を空けたマスク層を設け、前記マスク層に覆われていない前記第1の反強磁性層を削ることで、トラック幅方向に所定の間隔を空け、少なくとも前記第1の磁性層の素子両側上に第1の反強磁性層を残す工程。

【請求項34】 前記(e)工程で、前記マスク層に覆われていない前記第1の反強磁性層を除去した際に形成された前記間隔内に、少なくとも一部、前記非磁性金属層を残す請求項33記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項35】 前記反強磁性層と同じ組成の非磁性金属層を50Åよりも薄い膜厚で形成する請求項32ないし34のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項36】 基板上に下から、第1の反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層及びフリー磁性層の順に積層された多層膜と、前記フリー磁性層の磁化制御を行うための磁化制御層とを有する磁気検出素子の製造方法において、

(f) 前記基板のトラック幅方向における両側に第1の反強磁性層を設ける工程と、

(g) 前記第1の反強磁性層上から前記第1の反強磁性層間の基板上にかけて、トラック幅方向に延びる第1の磁性層と、前記第1の磁性層上に非磁性中間層を介して前記第1の磁性層に膜厚方向で対向する第2の磁性層とからなる固定磁性層を形成し、前記固定磁性層上に非磁性材料層及びフリー磁性層を形成する工程と、

(h) 磁場中アニールを施して、前記第1の反強磁性層と第1の磁性層の両側端部間に交換結合磁界を生じさせ、前記第1の磁性層と第2の磁性層を反平行状態に磁化固定する工程と、を有することを特徴とする磁気検出素子の製造方法。

【請求項37】 前記(f)及び(g)工程に代えて以下の工程を有する請

求項3 6記載の磁気検出素子の製造方法。

- (i) 前記基板のトラック幅方向における両側に所定深さの凹み部を設ける工程と、
- (j) 前記凹み部内に前記第1の反強磁性層を形成し、さらに前記第1の反強磁性層上に非磁性層を形成する工程と、
- (k) 前記非磁性層を除去した後、前記第1の反強磁性層上から基板上にかけて前記第1の反強磁性層と同じ組成であり且つ前記第1の反強磁性層よりも膜厚が薄く、不規則結晶構造の層である非磁性金属層を形成し、前記第1の反強磁性層上に重ねられた非磁性金属層を第1の反強磁性層の一部として構成し、さらに前記第1の反強磁性層及び前記非磁性金属層上に、トラック幅方向に延びる第1の磁性層と、前記第1の磁性層上に非磁性中間層を介して前記第1の磁性層に膜厚方向で対向する第2の磁性層とからなる固定磁性層を形成し、前記固定磁性層上に非磁性材料層及びフリー磁性層を形成する工程。

【請求項3 8】 前記非磁性金属層を50Åよりも薄い膜厚で形成する請求項3 7記載の磁気検出素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、ハードディスク装置などに搭載されるスピンドル型薄膜素子などの磁気検出素子に係わり、特に固定磁性層と第1の反強磁性層との構造を適正化することで、前記固定磁性層を適切に磁化固定できると共に、再生出力の向上を図り、さらには狭ギャップ化等に適切に対応することができる磁気検出素子及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

図6 3は従来の磁気検出素子（スピンドル型薄膜素子）を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

【0003】

符号1はPtMnなどの反強磁性層であり、前記反強磁性層1の上にNiFe

合金などで形成された固定磁性層2、Cuなどで形成された非磁性材料層3、およびNiFe合金などで形成されたフリー磁性層4が積層形成されている。

【0004】

図63に示すように前記反強磁性層1からフリー磁性層4までの各層のトラック幅方向(図示X方向)の両側には永久磁石層5が形成され、前記永久磁石層5の上に電極層6が形成されている。

【0005】

図63に示す磁気検出素子では、前記反強磁性層1と固定磁性層2間に交換結合磁界が生じることで前記固定磁性層2の磁化は図示Y方向に固定されている。

一方、フリー磁性層4はその両側に設けられた永久磁石層5からの縦バイアス磁界によって図示X方向に向けられている。

【0006】

図63に示す磁気検出素子に対して図示Y方向から外部磁界が侵入すると前記フリー磁性層の磁化が変動し、ハイト方向(図示Y方向)に磁化された固定磁性層2の固定磁化との関係で磁気抵抗効果が発揮され、外部信号が再生される。

【0007】

しかしながら図63に示す磁気検出素子の構造では以下のようないわゆる問題点があった。

【0008】

すなわち電極層6から流れるセンス電流は前記非磁性材料層3を主に流れ、特に反強磁性層1などに分流しないことが好ましいが、図63に示す構造では前記センス電流は前記固定磁性層2の下全面に形成された反強磁性層1にも分流しやすくなってしまっており、それが電流ロスとなって再生出力が低下するという問題があった。図63に示す磁気検出素子では前記フリー磁性層4の上面のトラック幅方向(図示X方向)における幅寸法でトラック幅Twが決められるが、このトラック幅Twが狭くなるにつれて上記した再生出力の低下は顕著化するため、反強磁性層1へのセンス電流の分流は無視できない問題となっていた。

【0009】

また反強磁性層1はその上に積層される各層の膜厚に比べて非常に厚い膜厚で

形成される。その理由の一つには前記固定磁性層2との間で大きな交換結合磁界を生じさせ、前記固定磁性層2の磁化固定を適切化するためであるが、前記反強磁性層1が厚いために上記した電流ロスが大きくなるとともに、前記磁気検出素子の膜厚方向（図示Z方向）の上下に形成されているシールド層7、8の膜厚方向（図示Z方向）への間隔を狭くすることができないため狭ギャップ化に適切に対応可能な磁気検出素子を製造することができなかった。

【0010】

さらに、図63に示すように固定磁性層2の下全面に反強磁性層1が形成されると静電破壊（ESD）に強い磁気検出素子を製造することができなかった。電極層6からセンス電流が流れると、それによって素子内に熱が発生し、またESDによる過渡電流の影響等を受けて、図示Y方向に固定されるはずの固定磁性層2の磁化が揺らぎやすくなるからである。前記反強磁性層1のブロッキング温度を超えない低い温度での発熱であればさほど大きな問題ではないが、素子自体が非常に小さくなっている今、素子内部でブロッキング温度を超えた熱が生じることで、前記反強磁性層1と固定磁性層2間で生じている交換結合磁界が弱まって前記固定磁性層2の磁化が揺らぐsoft ESDと呼ばれる磁気的な静電破壊現象が見られるようになっていた。

【0011】

ところで固定磁性層2及び反強磁性層1とで構成される交換結合膜の構造は、図63のような単に前記の2層を積層しただけの単純なものばかりではなく、前記交換結合膜の構造を改良したものや自己固定式の固定磁性層がいくつかの文献に紹介されている。

【0012】

【特許文献1】

特開2000-163717号公報

【特許文献2】

特開平8-7325号公報

【特許文献3】

特開平8-7235号公報

【特許文献4】

特開2000-113418号公報

【発明が解決しようとする課題】

例えば図64に示す磁気検出素子は、特開2000-163717号公報（以下、特許文献1という）の図1に掲載された図を書き写したものであり、図64は前記磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。なお図63と同じ符号が付けられている層は図63と同じ層を示している。符号9、10はギャップ層である。

【0013】

図64に示すように前記反強磁性層1のトラック幅方向における中央部には厚さが両側部分と異なる肉薄部11が設けられている。特許文献1によれば、前記肉薄部11の部分で前記固定磁性層2に対する直接的な磁化固定力は弱まるものの、十分な厚さを有する反強磁性層1の両側で作用する磁化固定力により、固定磁性層2の中央部の磁化固定力も補われ、特性が劣化することは無いと記載されている。

【0014】

しかしながら特許文献1に記載された磁気検出素子の構造では上記した問題は依然として解決されていない。まず反強磁性層1の中央部を肉薄部11にしても、この肉薄部11に電極層6からセンス電流が分流することでそれが電流ロスとなるし、また静電破壊も依然として起きやすい。また前記反強磁性層1の中央部を肉薄部11にすれば前記固定磁性層2との間で発生する交換結合磁界が低下するから固定磁性層2の磁化固定力は、図63に示す磁気検出素子の固定磁性層2の磁化固定力に比べて低下するのは明白である。

【0015】

また仮に前記反強磁性層1の肉薄部11の膜厚を相当に薄くし、上記した電流ロス等を軽減したとすると、前記肉薄部11と固定磁性層2間で交換結合磁界が全く発生しなくなってしまうため、この公報に記載されているように固定磁性層2の両側が反強磁性層1との間で強く磁化固定されていたとしても、前記固定磁性層2の中央部は、磁性層内部の交換相互作用により媒介されたバイアス磁界の

みを頼って磁化制御されるため、強固に前記中央部での磁化を固定できず、前記中央部の磁化は外部磁界によって変動しやすくなり、再生特性の劣化は免れないものと考えられる。

【0016】

また図65に示す磁気検出素子は、特開平8-7325号公報（以下、特許文献2という）の図5の一部を書き写したものであり、前記磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。なお図63と同じ符号が付けられている層は図63と同じ層を示している。

【0017】

図65に示す磁気検出素子では前記固定磁性層2が2層の磁性層12、14とその間に介在する非磁性層13の3層構造からなり、特許文献2ではこの固定磁性層2を「自動ピン止め層」と呼んでいる。図65に示すように前記固定磁性層2の磁化を固定するための反強磁性層1は設けられていない。この特許文献2によれば、前記固定磁性層2を構成する2層の磁性層は互いに反対方向に磁化されて「自動ピン止め」され、外部印加磁界が侵入してきても前記磁性層12、14が回転してしまうことは無いとしている。

【0018】

しかしながら図65に示すように反強磁性層1などのバイアス手段を設けずに固定磁性層2の磁性層12、14間で発生する磁界のみで前記固定磁性層2の磁化固定を行うと外部磁界の大きさや様々な要因によって、前記磁性層の磁化が反平行状態を保ちながら回転しやすく、あるいは前記反平行状態が崩れて、再生特性の劣化を招きやすい。

【0019】

また前記固定磁性層2を上記した3層構造にするにしても、各磁性層12、14の単位面積当たりの磁気モーメント等をどの程度にすれば、特許文献2で言う「自動ピン止め層」として機能させることができるかは明白でない。

【0020】

また特許文献3に記載されている磁気検出素子は、タンタル（Ta）からなるバッファ層62を下地として、その上に、ピン止め強磁性層70が積層されたも

のである。ピン止め強磁性層70は、第1のコバルト(Co)フィルム72と第2のコバルト(Co)フィルム74が、ルテニウム(Ru)フィルム73を介して積層されたものである。第1のコバルト(Co)フィルム72と第2のコバルト(Co)フィルム74は各々の異方性磁界によって磁化が固定されている。第1のコバルト(Co)フィルム72と第2のコバルト(Co)フィルム74は反強磁性結合しており、互いに反平行方向に磁化されている。

【0021】

しかし、特許文献3に記載されている磁気検出素子のように、タンタルからなるバッファ層上にCoフィルムを積層する構成では、ピン止め強磁性層70の磁化方向を適切に固定できないことがわかった。このことは、特許文献4においても指摘されている。

【0022】

特許文献4に記載の磁気検出素子は、特許文献3の問題を解決することを目的として発明されたものである。この磁気検出素子では、積層フェリ固定層の強磁性膜をCoFeまたはCoFeNiによって形成することによって誘導異方性を向上させている。

【0023】

なお、特許文献4には、積層フェリ固定層の下にTaからなる下地層を設けることも記載されているが、Ta下地を設けた場合とTa下地を設けない場合を比較した実験結果(特許文献4の図4、図5、図6、図7)をみると、強磁性層にCoFe合金を用いたときには、Ta下地を設けない方が磁気抵抗変化も保磁力も大きくなることが示されている。

【0024】

特許文献4には、積層フェリ固定層の誘導異方性を大きくするために、強磁性膜にCoFe合金を使用すること、及び強磁性膜の磁歪を正にすることが記載されている。

【0025】

自己固定式の固定磁性層の磁化を固定するために、最も重要な要素は固定磁性層の磁気弾性エネルギーに由来する一軸異方性である。特に固定磁性層の磁歪を

最適化することが重要である。しかし、特許文献4には、固定磁性層の磁歪を最適化する機構に関する考察がなく、固定磁性層の磁歪を最適化するための具体的構成に関する記載はなされていない。

【0026】

以上のように従来では、固定磁性層を強固に磁化固定できるとともに、再生出力を向上させることができ、さらには狭ギャップ化、静電破壊に適切に対応することができる構造は存在しなかった。

【0027】

そこで本発明は、上記の課題を解決するためになされたものであって、特に固定磁性層と第1の反強磁性層との構造を適正化することで、前記固定磁性層を適切に磁化固定できるとともに、再生出力の向上を図り、さらには狭ギャップ化等に適切に対応することができる可能な磁気検出素子及びその製造方法を提供すること目的としている。

【0028】

【課題を解決するための手段】

本発明の磁気検出素子は、基板上に少なくとも第1の反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層及びフリー磁性層を積層形成した多層膜と、前記フリー磁性層の磁化制御を行うための磁化制御層とを有し、

前記固定磁性層は、トラック幅方向に延び、前記第1の反強磁性層に接する側の第1の磁性層と、前記第1の磁性層と膜厚方向で対向する第2の磁性層と、前記第1の磁性層と第2の磁性層間に介在する非磁性中間層とを有して構成され、前記第1の磁性層と第2の磁性層は互いに磁化が反平行状態にあり、

前記第1の反強磁性層はトラック幅方向に所定間隔の間欠部を介して、前記第1の磁性層のトラック幅方向の両側端部に膜厚方向から接して設けられ、

前記間欠部での前記フリー磁性層の磁化の方向と前記第2の磁性層内の磁化の方向とで電気抵抗が変化することを特徴とするものである。

【0029】

上記した本発明の磁気検出素子の特徴的な部分は、前記固定磁性層が第1の磁性層と第2の磁性層と、両磁性層間に介在する非磁性層とを有して構成されてい

る点と、前記第1の磁性層に膜厚方向から接する第1の反強磁性層には、トラック幅方向の中央に所定間隔の間欠部が空けられている点である。

【0030】

本発明では、前記固定磁性層の両側端部は前記第1の反強磁性層との間で発生する交換結合磁界と、第1の磁性層と第2の磁性層間で発生するRKKY相互作用による反平行結合磁界によって、磁化が固定される。一方、前記固定磁性層の中央部でも上記したRKKY相互作用による反平行結合磁界が発生することで、固定磁性層が単層構造で、しかも中央部での磁化固定を磁性層内部の交換相互作用により媒介されたバイアス磁界に頼っていた図64の磁気検出素子に比べて前記固定磁性層の中央部の磁化をより強固に固定することができる。

【0031】

また上記した固定磁性層の中央部での磁化固定の良し悪しは、前記第1の反強磁性層に空けられた間隔のトラック幅方向への幅寸法によって変わるが、後述する実験によれば前記間隔が0.2 μ m程度でも十分に前記固定磁性層の中央部での磁化固定を確実なものにできることがわかっており、0.1 μ m以下のトラック幅Twを目指す現在にあって、前記間隔を0.2 μ m以下で形成することは技術的に難しいことではなく、よって本発明における第1の反強磁性層と固定磁性層との交換結合膜の構造を容易に且つ適切に製造することができる。

【0032】

そして本発明では前記第1の反強磁性層のトラック幅方向における中央部には所定の間隔が空けられ、前記第1の反強磁性層の中央部では前記固定磁性層との間で交換結合磁界が発生しないようになっている。そのため前記間隔内には前記第1の反強磁性層と同じ組成の非磁性金属層が全く無いかあっても非常に薄い膜厚である。したがって前記第1の反強磁性層の中央部へのセンス電流の分流ロスが無くなり再生出力の向上を図ることが可能になり、また狭ギャップ化も果たすことができる。しかも素子中央にそもそも第1の反強磁性層が全く無いか、あるいは有っても非常に薄い膜厚なので前記固定磁性層の中央部で静電気放電によって固定磁性層と第1の反強磁性層間の交換結合磁界の方向が反転したりする磁気的破壊の現象は起き難くなり、素子の小型化及び高密度化により厳しい環境下に

おいても、再生特性に優れた磁気検出素子を製造することが可能である。

【0033】

また本発明では、前記多層膜は下から、フリー磁性層、非磁性材料層、固定磁性層及び第1の反強磁性層の順に積層され、前記フリー磁性層の下にトラック幅方向に所定の間隔を空け、前記フリー磁性層のトラック幅方向の両側端部下に設けられた前記磁化制御層が第2の反強磁性層を有して構成され、前記固定磁性層を構成する第1の磁性層の両側端部上に前記第1の反強磁性層が設けられる構造を提供することができる。あるいは、前記磁化制御層が永久磁石層で構成され、前記フリー磁性層の両側端部と前記永久磁石層とは直接接触している構造を提供することができる。

【0034】

かかる場合、前記第1反強磁性層に空けられた前記間隔のトラック幅方向における最小寸法はWPで、前記磁化制御層に空けられた前記間隔のトラック幅方向における最小寸法はWf1であり、前記Wf1は前記WPと同じ寸法かそれよりも小さいことが好ましい。Wf1がWPよりも大きいと、Wf1-WPのフリー磁性層領域が、外部磁界を検知する感度領域として働く場合、その領域ではフリー磁性層の上下のシールド間隔が広がるため、再生波形のパルス幅(PW50)が広がったり分解能が低下するといった問題が発生する。よって前記Wf1はWPと同じ寸法か小さい寸法であることが好ましい。

【0035】

また本発明では、前記多層膜は下から、フリー磁性層、非磁性材料層、固定磁性層及び第1の反強磁性層の順に積層され、少なくとも前記フリー磁性層及び非磁性材料層のトラック幅方向の両側には前記磁化制御層となる永久磁石層が設けられ、前記非磁性材料層上に設けられる固定磁性層の一部あるいは全部が、前記非磁性材料層上から前記永久磁石層の上側にかけて形成され、前記固定磁性層を構成する第1の磁性層の両側端部上に前記第1の反強磁性層が設けられる構造を提供できる。

【0036】

かかる構造の場合、少なくとも前記フリー磁性層及び非磁性材料層のトラック

幅方向の両側には、前記永久磁石層を有する素子両側領域がトラック幅方向に延びて存在し、前記非磁性材料層上に設けられる固定磁性層が、前記非磁性材料層上から前記素子両側領域上にかけて形成される構造であるか、または少なくとも前記フリー磁性層、非磁性材料層並びに固定磁性層を構成する第2の磁性層及び非磁性中間層のトラック幅方向の両側には、前記永久磁石層を有する素子両側領域がトラック幅方向に延びて存在し、前記非磁性中間層上に設けられる前記固定磁性層を構成する第1の磁性層が、前記非磁性中間層上から前記素子両側領域上にかけて形成される構造であることが好ましい。

【0037】

また前記第1反強磁性層に空けられた前記間隔のトラック幅方向における最小寸法はWPで、前記フリー磁性層のトラック幅方向における最小幅寸法はWf2であり、前記Wf2は前記WPと同じ寸法かそれよりも小さいことが好ましい。理由は上記した通りである。

【0038】

さらに本発明では、前記多層膜は下から、第1の反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層及びフリー磁性層の順に積層され、前記第1の反強磁性層はトラック幅方向に所定間隔の間欠部を介して前記第1の磁性層のトラック幅方向の両側端部下に設けられる構造を提供することができる。なお前記第1の反強磁性層の下に設けられた前記基板のトラック幅方向の両側には所定深さの凹み部が設けられ、前記凹み部内に前記第1の反強磁性層が設けられて、前記第1の反強磁性層のトラック幅方向に所定間隔の間欠部が空けられる構造であることが好ましい。

【0039】

また上記の構造において、前記フリー磁性層上に、トラック幅方向に所定の間隔を空け、前記フリー磁性層の両側端部上に設けられた前記磁化制御層が第2の反強磁性層を有して構成される構造を提供でき、このとき前記第1反強磁性層に空けられた前記間隔のトラック幅方向における最小寸法はWPで、前記磁化制御層に空けられた前記間隔のトラック幅方向における最小寸法はWf3であり、前記Wf3は前記WPと同じ寸法かそれよりも小さいことが好ましい。

【0040】

あるいは前記フリー磁性層のトラック幅方向の両側に前記磁化制御層となる永久磁石層が設けられ、前記永久磁石層の下面是少なくとも前記固定磁性層よりも上側に位置する構造を提供でき、このとき前記第1反強磁性層に空けられた前記間隔のトラック幅方向における最小寸法はWPで、前記フリー磁性層のトラック幅方向における最小幅寸法はWf4であり、前記Wf4は前記WPと同じ寸法かそれよりも小さいことが好ましい。

【0041】

また前記WPは0.2μm以下であることが好ましい。

また本発明では、電極層が磁気検出素子のトラック幅方向における両側端部上に設けられ、前記電極層から前記多層膜に向けてセンス電流を流すことによって形成されるセンス電流磁界の向きは、前記固定磁性層を構成する磁性層の合成磁気モーメントの方向と一致していることが、より固定磁性層の磁化固定を強固にできる上で好ましい。

【0042】

また本発明では、前記間欠部には、両側の第1の反強磁性層と同じ組成の非磁性金属層が前記第1の磁性層と接して設けられており、前記間欠部での前記非磁性金属層は、前記第1の反強磁性層よりも薄く形成された不規則結晶構造の層であることが好ましい。

【0043】

前記第1の反強磁性層は磁場中熱処理を施されることで、少なくとも一部の不規則格子が規則格子に変態し、反強磁性を発揮するものである。一方、前記間欠部に前記第1の反強磁性層と同じ組成の非磁性金属層があっても前記非磁性金属層の膜厚は非常に薄いために、磁場中熱処理を施しても不規則格子から規則格子に変態できず、反強磁性を発揮しない不規則結晶構造の層となっている。

【0044】

また本発明では、前記第1の磁性層内の結晶と、前記非磁性金属層の結晶は、エピタキシャルまたはヘテロエピタキシャルな状態であり、前記固定磁性層の記録媒体との対向面側の端面が開放されていることが好ましい。

【0045】

前記非磁性金属層と膜厚方向で対向する固定磁性層の中央部は、固定磁性層自体の一軸異方性によっても磁化固定が強化されるものであることが好ましい。

【0046】

強磁性体膜の磁気異方性磁界を決める要素には、結晶磁気異方性、誘導磁気異方性、及び磁気弾性効果がある。このうち、結晶磁気異方性は多結晶をランダムに配向した結晶を有する膜では、異方性を一軸にそろえるのは難しい。一方、誘導磁気異方性は成膜時または熱処理時に一方向の磁場を与えることによって一軸性を帯び、磁気弾性効果は一軸性の応力を加えることによって一軸性を帯びる。

【0047】

上記では、固定磁性層の中央部の磁化を固定する一軸異方性を決める、誘導磁気異方性と磁気弾性効果のうち、磁気弾性効果に着目してなされたものである。

【0048】

磁気弾性効果は、磁気弾性エネルギーに支配される。磁気弾性エネルギーは、固定磁性層にかかる応力と固定磁性層の中央部の磁歪定数によって規定される。

【0049】

本発明では、前記固定磁性層の記録媒体との対向面側の端面が開放されているので、元々、二次元的に且つ等方的に加わっていたギャップ膜等からの応力が前記端面を開放されることによりその対称性が崩れ、前記固定磁性層には、素子高さ方向（ハイト方向）に一軸性の引張り応力が加えられる。従って磁気弾性効果により、前記固定磁性層の磁化方向を一方向に適切に向けることができる。

【0050】

本発明では、固定磁性層の中央部での磁歪定数を大きくすることによって磁気弾性エネルギーを大きくし、これによって、固定磁性層の中央部の一軸異方性を大きくするものである。固定磁性層の中央部の一軸異方性が大きくなると、固定磁性層の中央部の磁化は一定の方向に強固に固定されやすくなり、磁気検出素子の出力が大きくなりかつ出力の安定性や対称性も向上する。

【0051】

具体的には、前記固定磁性層を構成する前記複数の磁性層のうち前記第1の磁性層を、PtMn合金、または、X-Mn（ただしXは、Pt, Pd, Ir, R

h, Ru, Os, Ni, Feのいずれか1種または2種以上の元素である) 合金からなる非磁性金属層とエピタキシャルやヘテロエキタピシャルに接合させることによって、前記第1の磁性層の中央部の結晶構造に歪みを生じさせて前記第1の磁性層の中央部の磁歪定数 λ を大きくさせている。

【0052】

前記非磁性金属層が、PtMn合金、または、X—Mn (ただしXは、Pt, Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Feのいずれか1種または2種以上の元素である) 合金によって形成されると、前記非磁性金属層は、前記固定磁性層の第1の磁性層の中央部との界面付近あるいは、前記非磁性金属層の全領域において面心立方格子(fcc)構造をとり、前記界面と平行な方向に、{111}面として表される等価な結晶面が優先配向する。

【0053】

前記非磁性金属層の膜厚は、5 Å以上50 Å以下であることが好ましい。PtMn合金、または、X—Mn (ただしXは、Pt, Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Feのいずれか1種または2種以上の元素である) からなる前記非磁性金属層の膜厚がこの範囲内であると、非磁性金属層の結晶構造は、成膜時の状態である面心立方構造(fcc)を維持しつづける。なお、前記非磁性金属層の膜厚が、50 Åより大きくなると、約250 °C以上の熱が加わったときに、非磁性金属層の結晶構造が、その両側に設けられている第1の反強磁性層と同様に、CuAuI型の規則型の面心正方構造(fct)に構造変態するので好ましくない。ただし、非磁性金属層の膜厚が、50 Åより大きくても、約250 °C以上の熱が加わらなければ、非磁性金属層の結晶構造は、成膜時の状態である面心立方構造(fcc)を維持しつづける。

【0054】

なお前記PtMn合金中のPt含有量、または、X—Mn合金中のX元素の含有量は、55原子%以上95原子%以下であることが好ましい。

【0055】

また少なくとも前記非磁性金属層と膜厚方向で対向する前記固定磁性層の第1の磁性層の中央部は、前記非磁性金属層側の界面付近あるいは全領域において面

心立方格子（f c c）構造をとり、前記界面と平行な方向に、{111}面として表される等価な結晶面が優先配向していることが好ましい。

【0056】

上述のごとく、本発明における前記非磁性金属層は、f c c構造をとり前記界面と平行な方向に、{111}面として表される等価な結晶面が優先配向しているものである。

【0057】

従って、少なくとも前記非磁性金属層と膜厚方向で対向する前記第1の磁性層の中央部が、f c c構造をとり前記界面と平行な方向に、{111}面として表される等価な結晶面が優先配向しているものであると、中央部にて、前記第1の磁性層を構成する原子と前記非磁性金属層を構成する原子が互いに重なりやすいくなる。

【0058】

しかし、前記第1の磁性層の中央部での{111}面内の最近接原子間距離と、前記非磁性金属層の{111}面内の最近接原子間距離には、一定以上の差が生じるので、前記第1の磁性層の中央部と前記非磁性金属層の界面付近では、前記第1の磁性層の中央部を構成する原子と前記非磁性金属層を構成する原子が互いに重なり合いつつも、それぞれの結晶構造に歪みが生じている。すなわち、前記第1の磁性層の中央部の結晶構造に歪を生じさせることによって磁歪定数 λ を大きくさせることができる。

【0059】

例えば、前記固定磁性層の第1の磁性層を、Coまたは Co_xFe_y （ $y \leq 2$ 0, $x + y = 100$ ）によって形成すると、前記第1の磁性層の中央部を、f c c構造をとり前記界面と平行な方向に{111}面として表される等価な結晶面が優先配向するものにできる。

【0060】

または、少なくとも前記非磁性金属層と膜厚方向で対向する前記固定磁性層の第1の磁性層の中央部は、前記非磁性金属層側の界面付近あるいは全領域において体心立方格子（b c c）構造をとり、前記界面と平行な方向に、{110}面と

して表される等価な結晶面が優先配向しているものであることが好ましい。

【0061】

前記第1の磁性層の中央部が、b c c構造をとり前記界面と平行な方向に、{110}面として表される等価な結晶面が優先配向しているものであっても、前記第1の磁性層の中央部を構成する原子と前記非磁性金属層を構成する原子が互いに重なりあいやすくなる。

【0062】

このときも、前記第1の磁性層の中央部の{110}面内の最近接原子間距離と、前記非磁性金属層の{111}面内の最近接原子間距離には、一定以上の差が生じ、前記第1の磁性層の中央部と前記非磁性金属層の界面付近では、前記第1の磁性層の中央部を構成する原子と前記非磁性金属層を構成する原子が互いに重なり合いつつも、それぞれの結晶構造に歪みが生じる。すなわち、前記第1の磁性層の中央部の結晶構造に歪を生じさせることによって磁歪定数 λ を大きくさせることができる。

【0063】

例えば、前記固定磁性層の第1の磁性層を、 $\text{Co}_x \text{Fe}_y$ ($y \geq 20$, $x+y=100$) によって形成すると、前記第1の磁性層の中央部を、b c c構造をとり前記界面と平行な方向に{110}面として表される等価な結晶面が優先配向するものにできる。なお、b c c構造をとる $\text{Co}_x \text{Fe}_y$ ($y \geq 20$, $x+y=100$) は、f c c構造をとるCoまたは $\text{Co}_x \text{Fe}_y$ ($y \leq 20$, $x+y=100$) より、特に $y=50$ 附近の組成で磁歪定数 λ の値が大きいので、より大きな磁気弾性効果を発揮することができる。また、b c c構造をとる $\text{Co}_x \text{Fe}_y$ ($y \geq 20$, $x+y=100$) は、保磁力が大きく、前記固定磁性層の中央部の磁化固定を強固にことができる。

【0064】

また、本発明では、少なくとも前記非磁性金属層と膜厚方向で対向する前記固定磁性層の第1の磁性層の中央部の、前記非磁性金属層側の界面付近は面心立方格子(f c c)構造をとり、前記界面と平行な方向に{111}面として表される等価な結晶面が優先配向しており、前記非磁性中間層側の界面付近は体心立方格

子（b c c）構造をとり、前記界面と平行な方向に、{110}面として表される等価な結晶面が優先配向していることが好ましい。

【0065】

前記非磁性中間層側の界面付近をb c c構造にすることにより、磁歪定数 λ の値を大きくし、大きな磁気弾性効果を発揮させることができる。一方、前記第1の磁性層の中央部の前記非磁性金属層側の界面付近をf c c構造にすると、固定磁性層の中央部、非磁性材料層の中央部、フリー磁性層の中央部の結晶配向性が一定になり、磁気抵抗効率変化率（MR比）を高くすることができる。

【0066】

例えば、前記固定磁性層の第1の磁性層の、前記非磁性金属層側の界面付近の組成を Co_xFe_y ($y \leq 20$, $x + y = 100$) または Co にし、前記非磁性中間層側の界面付近の組成を Co_xFe_y ($y \geq 20$, $x + y = 100$) にすることによって、前記非磁性金属層側の界面付近は、f c c構造であって、前記界面と平行な方向に{111}面として表される等価な結晶面が優先配向し、前記非磁性中間層側の界面付近は、（b c c）構造であって、前記界面と平行な方向に、{110}面として表される等価な結晶面が優先配向しているものにできる。

【0067】

また、前記非磁性中間層側の界面付近の組成が、 Co_xFe_y ($y \geq 20$, $x + y = 100$) であると、前記非磁性中間層を介した第1の磁性層と他の磁性層間のRKKY相互作用が強くなるので好ましい。

【0068】

なお、前記固定磁性層の第1の磁性層は、前記非磁性金属層側の界面から前記非磁性中間層側の界面に向かうに連れて、Fe濃度が徐々に大きくなるものであってもよい。

【0069】

本発明では、前記非磁性金属層を構成する原子と少なくとも前記非磁性金属層と膜厚方向で対向する前記第1の磁性層の中央部の原子とを、重なり合わせつつ、結晶構造に歪みを生じさせるために、前記界面と平行な面内方向における前記非磁性金属層の最近接原子間距離と、前記固定磁性層の第1の磁性層の中央部の

最近接原子間距離の差を、前記第1の磁性層の最近接原子間距離で割った値を、0.05以上0.20以下にすることが好ましい。

【0070】

なお、前記第1の磁性層は磁歪定数が正の値である磁性材料によって形成されることが好ましい。

【0071】

前記第1の磁性層は、磁歪定数が正の値である磁性材料によって形成されることで、磁気弾性効果によって、前記第1の磁性層の磁化容易軸は磁気検出素子の奥側（ハイト方向）に平行方向となり、前記第1の磁性層の磁化方向がハイト方向に平行方向または反平行方向に固定される。

【0072】

なお、Crまたは α -TaまたはRhからなる電極層が磁気検出素子のトラック幅方向における両側端部上に設けられると、前記固定磁性層にかかる圧縮応力を大きくできるので好ましい。

【0073】

また本発明は、基板上に下から、フリー磁性層、非磁性材料層、固定磁性層及び第1の反強磁性層の順に積層された多層膜と、前記フリー磁性層の磁化制御を行うための磁化制御層とを有する磁気検出素子の製造方法において、

(a) 前記固定磁性層をトラック幅方向に延びる第2の磁性層と、前記第2の磁性層上に非磁性中間層を介して前記第2の磁性層と膜厚方向で対向する第1の磁性層とで形成し、さらに前記第1の磁性層上に前記第1の反強磁性層と同じ組成であり且つ前記第1の反強磁性層よりも膜厚が薄く、不規則結晶構造の層である非磁性金属層を形成し、前記非磁性金属層の上に非磁性層を形成する工程と、

(b) 前記非磁性層を除去し、前記非磁性金属層の両側端部上に前記非磁性金属層よりも厚い膜厚の上側反強磁性層を形成し、前記非磁性金属層と上側反強磁性層とで前記第1の反強磁性層を構成する工程と、

(c) 磁場中アニールを施して、前記第1の反強磁性層と第1の磁性層の両側端部間に交換結合磁界を生じさせ、前記第1の磁性層と第2の磁性層を反平行状態に磁化固定する工程、とを有することを特徴とするものである。

【0074】

また本発明では、前記（b）工程に代えて以下の工程を有することが好ましい。

（d）前記非磁性層を除去した後、前記第1の反強磁性層と同じ組成の非磁性金属層上に前記非磁性金属層よりも膜厚の厚い上側反強磁性層を形成し、前記非磁性金属層と上側反強磁性層とで前記第1の反強磁性層を構成する工程と、

（e）前記第1の反強磁性層の上側にトラック幅方向に所定の間隔を空けたマスク層を設け、前記マスク層に覆われていない前記第1の反強磁性層を削ることで、トラック幅方向に所定の間隔を空け、少なくとも前記第1の磁性層の素子両側上に第1の反強磁性層を残す工程。

【0075】

なお前記（e）工程で、前記マスク層に覆われていない前記第1の反強磁性層を除去した際に形成された前記間隔内に、少なくとも一部、前記非磁性金属層を残してもよい。

【0076】

また前記反強磁性層と同じ組成の非磁性金属層を50Åよりも薄い膜厚で形成することが好ましい。

【0077】

あるいは本発明は、基板上に下から、第1の反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層及びフリー磁性層の順に積層された多層膜と、前記フリー磁性層の磁化制御を行うための磁化制御層とを有する磁気検出素子の製造方法において、

（f）前記基板のトラック幅方向における両側に第1の反強磁性層を設ける工程と、

（g）前記第1の反強磁性層上から前記第1の反強磁性層間の基板上にかけて、トラック幅方向に延びる第1の磁性層と、前記第1の磁性層上に非磁性中間層を介して前記第1の磁性層に膜厚方向で対向する第2の磁性層とからなる固定磁性層を形成し、前記固定磁性層上に非磁性材料層及びフリー磁性層を形成する工程と、

（h）磁場中アニールを施して、前記第1の反強磁性層と第1の磁性層の両側端

部間に交換結合磁界を生じさせ、前記第1の磁性層と第2の磁性層を反平行状態に磁化固定する工程と、を有することを特徴とするものである。

【0078】

このとき、前記(f)及び(g)工程に代えて以下の工程を有することが好ましい。

(i) 前記基板のトラック幅方向における両側に所定深さの凹み部を設ける工程と、

(j) 前記凹み部内に前記第1の反強磁性層を形成し、さらに前記第1の反強磁性層上に非磁性層を形成する工程と、

(k) 前記非磁性層を除去した後、前記第1の反強磁性層上から基板上にかけて前記第1の反強磁性層と同じ組成であり且つ前記第1の反強磁性層よりも膜厚が薄く、不規則結晶構造の層である非磁性金属層を形成し、前記第1の反強磁性層上に重ねられた非磁性金属層を第1の反強磁性層の一部として構成し、さらに前記第1の反強磁性層及び前記非磁性金属層上に、トラック幅方向に延びる第1の磁性層と、前記第1の磁性層上に非磁性中間層を介して前記第1の磁性層に膜厚方向で対向する第2の磁性層とからなる固定磁性層を形成し、前記固定磁性層上に非磁性材料層及びフリー磁性層を形成する工程。

なお前記非磁性金属層を50Åよりも薄い膜厚で形成することが好ましい。

【0079】

上記した(a)ないし(e)工程を施すことで、固定磁性層の上に第1の反強磁性層を所定形状で形成でき、且つ前記第1の磁性層の両側端部と第1の反強磁性層間で所定の大きさの交換結合磁界を生じさせることができ、(f)ないし(k)工程を施すことで、固定磁性層の下に第1の反強磁性層を所定の形状で形成でき、且つ前記第1の磁性層の両側端部と第1の反強磁性層間で所定の大きさの交換結合磁界を生じさせることができる。

【0080】

前記固定磁性層の上あるいは下に前記第1の反強磁性層を設ける際、特に前記固定磁性層の下に第1の反強磁性層を設ける際には、単純に固定磁性層と第1の反強磁性層とを積層すればよいのではなく、固定磁性層のトラック幅方向におけ

る両側端部と前記第1の反強磁性層間で所定の大きさの交換結合磁界を生じさせるには、前記固定磁性層と第1の反強磁性層とを積層する際に工夫が必要である。

【0081】

上記した（a）ないし（d）工程、あるいは（e）ないし（h）工程を施すこととで、前記固定磁性層を第1の磁性層と第2の磁性層と両磁性層間に介在する非磁性層とを有する構造で形成でき、さらに前記第1の反強磁性層にトラック幅方向に所定の間隔を空け、且つ前記第1の磁性層の両側端部間でのみ交換結合磁界を生じさせることのできる磁気検出素子を製造することが可能になるのである。

【0082】

なお第1の反強磁性層が固定磁性層の上側に形成され、且つフリー磁性層の磁化制御層として永久磁石層が形成される場合には、単純に固定磁性層と第1の反強磁性層とを連続して成膜すればよく製造工程が容易である。

【0083】

【発明の実施の形態】

図1は本発明における磁気検出素子（スピンドル型薄膜素子）の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。図1に示す磁気検出素子はフリー磁性層24が第1の反強磁性層30よりも下側に形成されるタイプである。

【0084】

符号20は磁性材料製の下部シールド層（基板）である。前記下部シールド層20はNiFe合金やセンダストなどで形成される。図1に示すように前記下部シールド層20にはトラック幅方向（図示X方向）の中央に膜厚方向（図示Z方向）に突出する突出部20aが設けられ、そのトラック幅方向の両側に凹み部20bが設けられる。

【0085】

図1に示すように前記下部シールド層20の突出部20aの上面にはA1203などの絶縁材料で形成された下部ギャップ層21が形成され、前記下部ギャップ層21は、前記突出部20aのトラック幅方向における両側端面20a1から前記凹み部20bの上面にかけても形成されている。

【0086】

図1に示すように前記下部シールド層20の凹み部20b上及び突出部20a上に形成された下部ギャップ層21上にはNiFe合金、NiFeCr合金あるいはCrなどで形成されたシード層22が形成されている。

【0087】

図1に示すように前記シード層22上には第2の反強磁性層23が形成されている。この第2の反強磁性層23は主に前記下部シールド層20に形成された凹み部20b内に埋められた状態になっている。前記第2の反強磁性層23は例えばPtMnなどの反強磁性材料で形成される。

【0088】

前記第2の反強磁性層23と同じ組成の材料で形成された層は前記下部シールド層20の突出部20a上に形成されたシード層22上にも形成されているが、この部分での前記層の膜厚は、前記下部シールド層20の凹み部20b内に形成された前記第2の反強磁性層23の膜厚よりも薄くなっている。前記下部シールド層20の突出部20a上に形成された前記第2の反強磁性層23と同じ組成で形成された非磁性金属層の膜厚は50Åよりも薄いことが好ましく、前記非磁性金属層は不規則結晶構造で前記フリー磁性層24との間で交換結合磁界が生じておらず、前記フリー磁性層24の素子中央部24bが、前記交換結合磁界によって磁化固定されることを回避している。すなわち前記非磁性金属層は不規則結晶構造の層である。

【0089】

図1に示すように前記第2の反強磁性層23上にはフリー磁性層24が形成される。前記フリー磁性層24はNiFe合金やCoFe合金などの磁性材料で形成される。また図1に示す磁気検出素子では前記フリー磁性層24が単層構造であるが、複数の磁性層が積層された構造であってもよいし、あるいは2つの磁性層間に非磁性層が介在する人工フェリ構造であってもよい。

【0090】

図1に示す実施の形態では、前記フリー磁性層24のトラック幅方向（図示X方向）における両側端部24aがその下に接して形成された膜厚の厚い第2の反

強磁性層23との間で発生する交換結合磁界によって図示X方向に磁化固定されている。一方、前記フリー磁性層24のトラック幅方向における中央部24bでは、その下に非常に薄い膜厚の第2の反強磁性層23と同じ組成の非磁性金属層が形成されており、この非磁性金属層は不規則結晶構造の層であるため前記第2の反強磁性層23との間で交換結合磁界が発生しておらず、前記フリー磁性層24の中央部24bがその両側端部24aのように強固に磁化固定されない。前記フリー磁性層24の中央部24bの磁化は図示Y方向から進入してくる外部磁界によって磁化変動する程度に弱く単磁区化された状態にある。

【0091】

前記フリー磁性層24の上には非磁性材料層25が形成されている。前記非磁性材料層25は、固定磁性層26とフリー磁性層24との磁気的な結合を防止し、またセンス電流が主に流れる層であり、Cu, Cr, Au, Agなど導電性を有する非磁性材料により形成されることが好ましい。特にCuによって形成されることが好ましい。

【0092】

前記非磁性材料層25の上には固定磁性層26が形成されている。図1に示す実施形態では、固定磁性層26は人工フェリ構造である。前記固定磁性層26は第1の反強磁性層30に接する側の第1の磁性層29と、前記第1の磁性層29と膜厚方向（図示Z方向）で対向する第2の磁性層27と、前記第1の磁性層29と第2の磁性層27間に介在する非磁性中間層28との3層構造である。

【0093】

前記磁性層27、29は、例えばNiFe合金、Co、CoNiFe合金、CoFe合金、CoNi合金などの磁性材料で形成される。例えば前記第1の磁性層29と第2の磁性層27は、同一の材料で形成される。また単層構造であっても磁性層の積層構造であってもどちらでもよい。なお前記磁性層27、29の好ましい形態については後で詳述する。

【0094】

また前記非磁性中間層28は、非磁性材料により形成されるもので、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうち1種またはこれらの2種以上の合金で形成さ

れている。特にRuによって形成されることが好ましい。

【0095】

図1に示す実施形態では前記第1の磁性層29のトラック幅方向(図示X方向)における両側端部29a上に第1の反強磁性層30が形成されている。前記第1の反強磁性層30は前記第1の磁性層29の中央部29b上には形成されておらず、その部分に所定の間隔Cが形成されている。前記第1の反強磁性層30は、PtMn合金、または、X-Mn(ただしXは、Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Feのいずれか1種または2種以上の元素である)合金で、あるいはPt-Mn-X'(ただしX'は、Pd, Ir, Rh, Ru, Au, Ag, Os, Cr, Ni, Ar, Ne, Xe, Krのいずれか1または2種以上の元素である)合金で形成されることが好ましいが、IrMn合金などPtMn合金よりもブロッキング温度の低い反強磁性材料で形成されてもよい。

【0096】

磁場中熱処理が施されると前記第1の反強磁性層30と第1の磁性層29の両側端部29a間に交換結合磁界が発生し、前記第1の磁性層29は図示Y方向に磁化固定される。このため磁場中熱処理が施された後の段階では前記第1の反強磁性層30は少なくとも一部が不規則格子から規則格子に変態した状態になっている。

【0097】

図1に示す実施形態では、前記固定磁性層26が2層の磁性層27、29との間に介在する非磁性中間層28との人工フェリ構造であるから前記第1の磁性層29と第2の磁性層27間にRKKY相互作用による反平行磁界が作用し、前記第2の磁性層27の両側端部27aは図示Y方向とは逆方向に磁化固定される。一方、前記第1の磁性層29及び第2の磁性層27の中央部29b、27bでも上記したRKKY相互作用による反平行結合磁界は生じ、前記第1の磁性層29及び第2の磁性層27の中央部29b、27bの磁化は両側端部29a、27aでの磁化方向に倣って反平行状態で磁化固定される。

【0098】

図1に示すように、前記第1の反強磁性層30の上にはCrなどで形成された

ストッパ層31が形成され、前記ストッパ層31の上にはTaなどで形成された保護層32が形成されている。前記保護層32上には例えばAu、Pd、Cr、Rh、Ru、Ta、Wなどの非磁性導電材料で形成された電極層33が形成され、さらに前記電極層33上にTaなどで形成された保護層34が形成されている。

【0099】

図1に示すように前記保護層34から、前記第1の反強磁性層30間に形成された間隔C内から露出する固定磁性層26の第1の磁性層29上にかけて絶縁材料で形成された上部ギャップ層35が形成され、前記上部ギャップ層35上に磁性材料製の上部シールド層36が形成されている。

【0100】

図1に示す実施形態では、前記下部シールド層20の突出部20aと膜厚方向(図示Z方向)で対向するフリー磁性層24のトラック幅方向(図示X方向)における幅寸法がトラック幅Twである。なおここで言うトラック幅Twとは物理的なトラック幅(Physical Read Track Width; 略してトラック幅RTwとも言う)であり、以下においても同じである。

【0101】

図1に示す磁気検出素子の構造の特徴的部分について以下に説明する。図1に示す実施の形態では、前記固定磁性層26が、第1の反強磁性層30と接する側の第1の磁性層29と、前記第1の磁性層29と膜厚方向で対向する第2の磁性層27と、前記第1の磁性層29と第2の磁性層27間に介在する非磁性中間層28との3層構造で構成されている。前記第1の磁性層29と第2の磁性層27にはRKKY相互作用による反平行結合磁界が生じるため、両磁性層27、29の磁化は反平行状態になっている。

【0102】

前記第1の反強磁性層30は、前記第1の磁性層29の両側端部29a上にのみ設けられ、前記第1の磁性層29の中央部29b上には設けられていない。このため交換結合磁界は前記第1の磁性層29の両側端部29aとの間でのみ生じ、前記第1の磁性層29の中央部29bとの間には生じていない。したがって前

記第1の磁性層29及び第2の磁性層27の両側端部29a、27aの磁化は前記交換結合磁界とRKKY相互作用等により反平行状態を保ちながらハイト方向（図示Y方向）と平行な方向に固定されている。

【0103】

一方、前記固定磁性層26の第1の磁性層29及び第2の磁性層27の中央部29b、27bでは各磁性層内部の交換相互作用により媒介されたバイアス磁界や上記したRKKY相互作用によって反平行状態を保ってハイト方向（図示Y方向）と平行な方向に固定されることが後述する実験でも確認されており、図1に示す実施の形態であれば、前記固定磁性層26の磁化固定を適切に行うことが可能である。

【0104】

すなわち図1のように固定磁性層26上に設けられた第1の反強磁性層30は、前記固定磁性層26のトラック幅方向における両側端部上に設けられ、この両側端部でのみ交換結合磁界が生じるが、この第1の反強磁性層30の構造に対して、前記固定磁性層26を人工フェリ構造にすることで、前記固定磁性層26全体の磁化を適切にハイト方向に磁化固定できるのである。

【0105】

そして図1に示す構造の磁気検出素子であれば前記固定磁性層26の磁化を確実に固定できる上、以下のような効果を期待できる。まず前記第1の磁性層29の中央部29b上には前記第1の反強磁性層30が設けられていないので、前記電極層33から主に非磁性材料層25を中心として流れるセンス電流が、その非磁性材料層25にたどり着くまでに前記第1の反強磁性層30に分流することが少なくなり、分流ロスを軽減できる結果、再生出力の向上を図ることが可能である。

【0106】

また前記第1の磁性層29の中央部29b上に前記第1の反強磁性層30を設けないことで、素子中央部でのシールド層20、36の膜厚方向（図示Z方向）への間隔は狭まり、いわゆる狭ギャップ化を図ることが可能である。フリー磁性層24の中央部24bが再生感度を持つ領域であるから、素子中央部でのギャップ

プロ長を短くできれば、再生波形のパルス幅（P W 5 0）が広がって分解能が低下するといった問題を適切に防止でき、今後の高記録密度化に適切に対応可能な磁気検出素子を製造することが可能である。

【0107】

さらに前記第1の磁性層29の中央部29b上に前記第1の反強磁性層30を設けないことで、前記固定磁性層26の素子中央部での磁気的な静電破壊（soft ESD）は起こりにくくなる。従来では、前記第1の反強磁性層は固定磁性層上全体に設けられていたから、前記第1の反強磁性層のブロッキング温度を超える高い熱の発生等により、交換結合磁界が弱まり素子中央部での固定磁性層の磁化固定状態が崩れて再生特性の劣化を招いたが、図1のように第1の磁性層29の中央部29b上に前記第1の反強磁性層30を設けなければ、そもそも固定磁性層26の中央部にて前記第1の反強磁性層30のブロッキング温度と発熱との温度関係等を気にする必要がなく、上記した静電破壊の発生を未然に防ぐことができる。また第1の反強磁性層30が設けられている素子両側端部には抵抗の小さい電極層33が重ねられ、かつ素子高さ方向（図示Y方向）に長く形成されるため、両側端部での電流密度は中央部に比べてはるかに低く、ジュール熱が発生しにくくなっている。

【0108】

このように、図1に示す磁気検出素子の構造では、固定磁性層26の磁化を適切にハイト方向に磁化固定できるとともに、再生出力の向上や狭ギャップ化及び静電破壊の抑制をも図ることができ、今後の更なる高記録密度化に適切に対応可能な磁気検出素子を提供することができる。

【0109】

また図1に示す磁気検出素子では、前記下部シールド層20の両側端部に設けられた凹み部20b内に第2の反強磁性層23が埋められることで前記第2の反強磁性層23間にはトラック幅方向（図示X方向）に所定の間隔Dが形成され、この間隔Dのトラック幅方向における最小幅寸法はWf1である（図1の実施形態では前記最小幅寸法Wf1はトラック幅Twと同じ寸法である）。

【0110】

また前記第1の反強磁性層30間に形成された間隔Cはトラック幅方向に最小寸法WPで形成される。

【0111】

そして図1に示す実施の形態では、前記最小幅寸法Wf1は最小寸法WPと同じかあるいはそれよりも小さくなっている。このように最小幅寸法Wf1を最小寸法WPと同じかあるいはそれよりも小さくすることで、フリー磁性層24の中央部24bは確実にシールド層20、36の膜厚方向への間隔（いわゆるギャップ長）が最も狭い間に位置し、再生パルス幅（PW50）の広がりや分解能の低下を抑制できる。前記フリー磁性層24の中央部24bは再生感度に優れた部分で、この部分が実質的に磁気抵抗効果に寄与する部分であるから、前記フリー磁性層24の中央部24bの上下に設けられるシールド層20、36の間隔は最も狭くなるようにして、余分な外部磁界が前記中央部24b内に入り込まないようになることが必要である。

【0112】

なお前記第1の反強磁性層30間の最小寸法WPは0.3μm以下であることが好ましく、より好ましくは0.2μm以下である。後述する実験によれば前記最小寸法WPを狭くすることで一方向性交換バイアス磁界を大きくでき、さらに再生出力を大きくできることがわかった。前記最小寸法WPを狭くするほど、素子中央部における前記第1の磁性層29と第2の磁性層27の磁化を効果的に反平行状態に磁化固定できるからである。

【0113】

次に前記固定磁性層26を構成する第1の磁性層29と第2の磁性層27の単位面積当たりの磁気モーメントについて説明する。

【0114】

前記第2の磁性層27の単位面積当たりの磁気モーメント（飽和磁化Ms×膜厚t）から第1の磁性層29の単位面積当たりの磁気モーメントを引いた単位面積当たりの合成磁気モーメントは-6（T・nm）以上で2.6（T・nm）以下の範囲内であると、第1の反強磁性層30が上に形成されていない前記固定磁

性層26の素子中央部がトラック幅方向の磁界によっても回転せず、回転しても $\cos \theta \geq 0.8$ となる回転角 θ 以下に抑えることができる。

【0115】

なおより好ましくは、前記合成磁気モーメントは0 (T. nm) より大きく2.6 (T. nm) 以下であり、前記固定磁性層26のスピップ磁界を大きくでき、前記固定磁性層26を磁化制御する際の前記磁場中アニール時の磁場強度のマージンを広く取ることが可能になり、前記固定磁性層26の第1の磁性層29と第2の磁性層27を適切にハイト方向と平行な方向であって且つ反平行に磁化固定しやすい。

【0116】

なお前記第2の磁性層27の膜厚から第1の磁性層29の膜厚を引いた膜厚差は-30 Å 以上で30 Å 以下の範囲内であることが好ましい。第1の反強磁性層30が上に形成されていない前記固定磁性層26の素子中央部が外部磁界によって回転せず、回転しても $\cos \theta \geq 0.8$ となる回転角 θ 以下に抑えることができる。また前記膜厚差は0 Å 以上で30 Å 以下の範囲内であることがより好ましく、前記固定磁性層26のスピップ磁界を大きくでき、前記固定磁性層26を磁化制御する際の前記磁場中アニール時の磁場強度のマージンを広く取ることが可能になる。

【0117】

次に図1に示す実施の形態では、前記第1の反強磁性層30の上に電極層33が設けられ、前記電極層33から、固定磁性層26、非磁性材料層25及びフリー磁性層24の多層膜へ向けて流れるセンス電流は各層を膜面と平行な方向(図示X方向)に流れる。このとき前記センス電流を流すことによって形成されるセンス電流磁界の向きは、前記固定磁性層26を構成する第1の磁性層29と第2の磁性層27との合成磁気モーメントの向きと一致していることが前記固定磁性層26の磁化固定をさらに強固なものにできて好ましい。

【0118】

図13は、図1に示す固定磁性層26、非磁性材料層25及びフリー磁性層24の部分を図示Y-Z平面と平行な方向から切断した部分模式図である。第1の

磁性層29の磁化は図示右側に向いており、第2の磁性層27の磁化は図示左側に向いている。図13では例えば前記第1の磁性層29と第2の磁性層27は共に同じ材質で形成され、前記第1の磁性層29の膜厚の方が前記第2の磁性層27の膜厚に比べて厚くなっているから、前記第1の磁性層29の単位面積当たりの磁気モーメント（飽和磁化 M_s ×膜厚 t ）の方が前記第2の磁性層27の単位面積当たりの磁気モーメントよりも大きくなっている。このため合成磁気モーメントは図示右方向に向いている。

【0119】

一方、センス電流は紙面垂直下方向に向いており、センス電流が流れることによって発生するセンス電流磁界は、固定磁性層26側で図示右方向に向いており、よって前記合成磁気モーメントの方向と一致している。

【0120】

一方、図14は図13と異なって第1の磁性層29の単位面積当たりの磁気モーメントが第2の磁性層27よりも小さくなっているが、前記第1の磁性層29及び第2の磁性層27の磁化方向を図13とは反対にすることで、合成磁気モーメントは図示右方向を向き、同じく固定磁性層26側で図示右方向に向いているセンス電流磁界の向きと一致している。

【0121】

このように、合成磁気モーメントの向きを変えるには、各磁性層27、29の磁化方向や単位面積当たりの磁気モーメントの大きさを変えることで行うことができる。

【0122】

図2は本発明における磁気検出素子（スピンドル型薄膜素子）の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。図2に示す磁気検出素子は図1と同様にフリー磁性層24が第1の反強磁性層30よりも下側に形成されるタイプである。

【0123】

図2の磁気検出素子と図1の磁気検出素子と構造上異なる点は、第2の反強磁性層23とフリー磁性層24の形状の部分のみであり、それ以外は同じ構造であ

る。

【0124】

図2では、前記下部シールド層20のトラック幅方向（図示X方向）の両側に形成された凹み部20b内に第2反強磁性層23とともに、前記第2反強磁性層23の上にフリー磁性層24の下層部24cも埋め込まれている。図2では前記フリー磁性層24の上層部24dが前記下層部24c上から前記下部シールド層20の突出部20a上に形成されたシード層22上にまで形成されている。前記フリー磁性層24の下層部24cと上層部24dとの界面は点線で示されているようにその存在の有無を判別しにくく、前記下層部24cと上層部24dとが一体化されている。

【0125】

図2に示す実施の形態では前記第2の反強磁性層23が前記下部シールド層20の凹み部20b内にのみ埋められており、図1のように前記下部シールド層20の突出部20a上に前記第2の反強磁性層23と同じ組成の非磁性金属層が薄い膜厚で残っていない。

【0126】

図1と図2の前記第2の反強磁性層23とフリー磁性層24の形状の違いは製造方法が異なるために生じる違いであり、特に固定磁性層26と第1の反強磁性層30との交換結合膜に関する効果は、図1と異なるところが無い。

【0127】

次に図3ないし図8に示す各実施の形態は、磁気検出素子（スピンドル型薄膜素子）の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図であり、図3ないし図8に示す磁気検出素子は図1と同様にフリー磁性層24が第1の反強磁性層30よりも下側に形成されるタイプである。

【0128】

ただし図1及び図2では、前記フリー磁性層24の磁化制御層として第2の反強磁性層23を用いていたが、図3ないし図8では永久磁石層41を用いて前記フリー磁性層24の磁化制御を行っている。なお図3ないし図8において、図1と同じ符号がつけられている層は図1と同じ層であるので説明を省略する。

【0129】

図3に示すように、前記下部シールド層20上に下部ギャップ層21が形成され、前記下部ギャップ層21のトラック幅方向（図示X方向）における中央部上にシード層22が形成される。さらに前記シード層22上にはフリー磁性層24が形成され、前記フリー磁性層24のトラック幅方向の両側に前記フリー磁性層24の磁化制御層となる永久磁石層41が形成されている。前記永久磁石層41はCoPt合金やCoPtCr合金などで形成される。図3に示すように前記永久磁石層41の下にはCrやWなどで形成されたバイアス下地層40が形成されており、このバイアス下地層40の上に前記永久磁石層41を設けることで前記永久磁石層41の特性（保磁力Hcや角形比S）を向上させることができる。なおトラック幅Twは前記フリー磁性層24の上面のトラック幅方向への幅寸法で規制される。

【0130】

また前記永久磁石層41の上には、Taなどで形成された保護層42及びシード層22が積層形成されており、前記フリー磁性層24の両側には、前記永久磁石層41や保護層42及びシード層22を有する素子両側領域Aがトラック幅方向に広がって形成されている。

【0131】

図3では前記永久磁石層41からトラック幅方向への縦バイアス磁界が前記フリー磁性層24に作用し、前記フリー磁性層24の磁化がトラック幅方向へ単磁区化される。

【0132】

図3では、前記フリー磁性層24の上に非磁性材料層25の下層部25aが形成され、この下層部25aのトラック幅方向の両側に前記素子両側領域Aが広がり、またこの下層部25aと一体に形成された前記非磁性材料層25の上層部25bが前記下層部25a上から前記素子両側領域A上に伸びて形成され、前記下層部25aと上層部25bとで非磁性材料層25が構成される。なお図面では下層部25aと上層部25bとの境界は点線で示されている。

【0133】

図3に示すように、前記非磁性材料層25上には、第1の磁性層29と第2の磁性層27とその間に介在する非磁性中間層28との人工フェリ構造で構成される固定磁性層26が形成されている。前記第1の磁性層29と第2の磁性層27間にはRKKY相互作用による反平行結合磁界が生じるため、両磁性層27、29の磁化は反平行状態になっている。

【0134】

図3に示すように第1の反強磁性層30は、前記第1の磁性層29の両側端部29a上にのみ設けられ、前記第1の磁性層29の中央部29bには設けられていない。このため交換結合磁界は前記第1の磁性層29の両側端部29aとの間でのみ生じ、前記第1の磁性層29の中央部29bとの間には生じていない。したがって前記第1の磁性層29及び第2の磁性層27の両側端部29a、27aの磁化は前記交換結合磁界とRKKY相互作用等により反平行状態を保ちながらハイト方向（図示Y方向）と平行な方向に固定されている。

【0135】

一方、前記固定磁性層26の第1の磁性層29及び第2の磁性層27の中央部29b、27bでは各磁性層内部の交換相互作用により媒介されたバイアス磁界や上記したRKKY相互作用によって反平行状態を保ってハイト方向（図示Y方向）と平行な方向に固定され、図3に示す実施の形態であれば、前記固定磁性層26の磁化固定を適切に行うことが可能である。

【0136】

そして図3に示す磁気検出素子の構造により、前記固定磁性層26の磁化を適切にハイト方向に磁化固定できるとともに、再生出力の向上や狭ギャップ化さらには静電破壊（ESD）に対して強くでき、今後の更なる高記録密度化に適切に対応可能な磁気検出素子を提供することができる。

【0137】

また図3に示す磁気検出素子では、前記永久磁石層41間に挟まれたフリー磁性層24のトラック幅方向への最小幅寸法はWf2（図3の実施形態では前記最小幅寸法Wf2はトラック幅Twと同じ寸法である）であり、また前記第1の反強磁性層30間に形成された間隔Cはトラック幅方向に最小寸法WPで形成され

る。

【0138】

そして図3に示す実施の形態では、前記最小幅寸法Wf2は最小寸法WPと同じかあるいはそれよりも小さくなっている。このように最小幅寸法Wf2を最小寸法WPと同じかあるいはそれよりも小さくすることで、フリー磁性層24は確実にシールド層20、36の膜厚方向への間隔（いわゆるギャップ長）が最も狭い間に位置し、再生パルス幅（PW50）の広がりや分解能の低下を抑制できる。

【0139】

また図3に示す実施の形態では、前記第1の反強磁性層30の上に電極層33が設けられ、前記電極層33から、固定磁性層26、非磁性材料層25及びフリー磁性層24等で構成される多層膜へ向けて流れるセンス電流は各層を膜面と平行な方向（図示X方向）に流れる。このとき前記センス電流を流すことによって形成されるセンス電流磁界の向きは、前記固定磁性層26を構成する第1の磁性層29と第2の磁性層27との合成磁気モーメントの向きと一致していることが前記固定磁性層26の磁化固定をさらに強固なものにできて好ましい。前記合成磁気モーメントの向きとセンス電流磁界の向きとの一致のさせ方については図13及び図14で説明したのでそちらを参照されたい。

【0140】

なお第1の磁性層29と第2の磁性層27の単位面積当たりの合成磁気モーメントの好ましい範囲などは図1で説明した通りなのでそちらを参照されたい。なお図3の場合は、後述の製造方法で説明する第2の磁場中アニールを行う必要がないため前記合成磁気モーメントを0T・nmより大きくする必要は無い。

【0141】

図4は図3と異なり、前記下部ギャップ層21のトラック幅方向（図示X方向）における中央部上にシード層22、フリー磁性層24及び非磁性材料層25が形成され、さらに前記非磁性材料層25上に固定磁性層26を構成する第2の磁性層27の下層部27cが形成され、前記シード層22から前記下層部27cのトラック幅方向の両側に永久磁石層41を有する素子両側領域Aが形成されてい

る。

【0142】

図4では前記第2の磁性層27の下層部27c上から前記素子両側領域A上にかけて前記第2の磁性層27の上層部27dが形成され、前記下層部27cと上層部27dとが一体化して第2の磁性層27が構成されている。

【0143】

図5は図3及び図4と異なり、前記下部ギャップ層21のトラック幅方向（図示X方向）における中央部上にシード層22、フリー磁性層24、非磁性材料層25、固定磁性層26を構成する第2の磁性層27及び非磁性中間層28が形成され、さらに前記非磁性中間層28の上に第1の磁性層29の下層部29cが形成され、前記シード層22から前記第1の磁性層29の下層部29cのトラック幅方向の両側に永久磁石層41を有する素子両側領域Aが形成されている。

【0144】

図5では前記第1の磁性層29の下層部29c上から前記素子両側領域A上にかけて前記第1の磁性層29の上層部29dが形成され、前記下層部29cと上層部29dとが一体化して第1の磁性層29が構成されている。

【0145】

図6は図3ないし図5と異なり、前記下部ギャップ層21のトラック幅方向（図示X方向）における中央部上にシード層22、フリー磁性層24、非磁性材料層25、固定磁性層26を構成する第2の磁性層27及び非磁性中間層28が形成され、さらに前記非磁性中間層28の上に磁性中間層43の下層部43aが形成され、前記シード層22から前記磁性中間層43の下層部43aのトラック幅方向の両側に永久磁石層41を有する素子両側領域Aが形成されている。

【0146】

図6では前記磁性中間層43の下層部43a上から前記素子両側領域A上にかけて前記磁性中間層43の上層部43bが形成され、前記下層部43aと上層部43bとが一体化して磁性中間層43が構成されている。さらに前記磁性中間層43上には非磁性中間層28と同様の材質で形成された非磁性中間層44が形成され、前記非磁性中間層44の上に第1の磁性層29が形成される。図6では前

記固定磁性層26が5層の積層構造である。

【0147】

図7は図3ないし図6と異なり、前記下部ギャップ層21のトラック幅方向（図示X方向）における中央部上にシード層22、フリー磁性層24、非磁性材料層25、固定磁性層26を構成する第2の磁性層27、非磁性中間層28が形成され、前記シード層22から前記非磁性中間層28のトラック幅方向の両側に永久磁石層41を有する素子両側領域Aが形成されている。

【0148】

図7では前記非磁性中間層28上から前記素子両側領域A上にかけて第1の磁性層29が形成されている。

【0149】

図8は図3ないし図7と異なり、前記下部ギャップ層21のトラック幅方向（図示X方向）における中央部上にシード層22、フリー磁性層24、非磁性材料層25、固定磁性層26を構成する第2の磁性層27、非磁性中間層28が形成され、前記シード層22から前記非磁性中間層28のトラック幅方向の両側に永久磁石層41を有する素子両側領域Aが形成されている。

【0150】

図8では前記非磁性中間層28上から前記素子両側領域A上にかけて磁性中間層43が形成され、さらに前記磁性中間層43の上に非磁性中間層44及び第1の磁性層29が積層形成されている。

【0151】

図3ないし図8に示す構造の違いは製造方法に起因するもので、図3のように非磁性材料層25を製造の際に下層部25aと上層部25bとを別々に形成した場合や図4のように第2の磁性層27を製造の際に下層部27cと上層部27dとを別々に形成した場合には、その下層部と上層部間に原子配列の乱れが発生しやすくその結果、MR特性の低下が懸念されるが、固定磁性層26の両側端部を確実に磁化固定できるという効果を期待できる。

【0152】

図5では、第1の磁性層29の下層部29cと上層部29dとを別々に形成す

ることで、前記固定磁性層 26 の中央部での磁化固定が適切に行われるか否か不安が残るが、MR特性の向上を期待することができる。

【0153】

また図6では、固定磁性層26に磁性中間層43を設けることで、前記磁性中間層43への電流ロスで再生出力の低下が懸念されるが、固定磁性層26の磁化固定の適正化及びMR特性の向上を期待することができる。

【0154】

図7では図5と同様に、前記固定磁性層26の中央部での磁化固定が適切に行われるか否か不安が残るが、MR特性の向上を期待することができ、図8では図6と同様に、前記磁性中間層43への電流ロスで再生出力の低下が懸念されるが、固定磁性層26の磁化固定の適正化及びMR特性の向上を期待することができる。

【0155】

また図9に示す磁気検出素子は、下部ギャップ層21上にトラック幅方向（図示X方向）に所定間隔を空けて一对の永久磁石層41が形成され、この永久磁石層41の上から前記永久磁石層41間の間隔内にかけてフリー磁性層24が形成されている。この実施形態では前記フリー磁性層24と永久磁石層41との界面は直接接していた方がよく、これにより適切にサイドリーディングの発生を抑制できる。

【0156】

図10は本発明における磁気検出素子（スピンドル型薄膜素子）の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。図10に示す磁気検出素子はフリー磁性層24が第1の反強磁性層30よりも上側に形成されるタイプである。

【0157】

図10に示すように下部シールド層20にはトラック幅方向（図示X方向）の中央に膜厚方向（図示Z方向）に突出する突出部20aが設けられ、そのトラック幅方向の両側に凹み部20bが設けられる。

【0158】

図10に示すように前記下部シールド層20の突出部20aの上面にはA12

O₃などの絶縁材料で形成された下部ギャップ層21が形成され、前記下部ギャップ層21は、前記突出部20aのトラック幅方向における両側端面20a1から前記凹み部20bの上面にかけても形成されている。

【0159】

図10に示すように前記下部シールド層20の凹み部20b上及び突出部20a上に形成された下部ギャップ層21上にはNiFe合金、NiFeCr合金あるいはCrなどで形成されたシード層22が形成されている。

【0160】

図10に示すように前記下部シールド層20の凹み部20b内に形成された前記シード層22上には第1の反強磁性層30が形成されている。よって前記第1の反強磁性層30は前記下部シールド層20の凹み部20b内に埋められた状態になっている。

【0161】

前記第1の反強磁性層30は前記下部シールド層20の突出部20a上に形成されたシード層22上に形成されておらず、交換結合磁界は前記固定磁性層26を構成する第1の磁性層29の両側端部29aと前記第1の反強磁性層30との間でのみ生じている。なお前記下部シールド層20の突出部20a上に第1の反強磁性層30と同じ組成の非磁性金属層が50Åよりも薄い膜厚で形成されてもよく、かかる場合、前記固定磁性層26を構成する第1の磁性層29の中央部29bと前記非磁性金属層との間で交換結合磁界は生じていない。それは前記非磁性金属層は膜厚が薄いため磁場中熱処理を施しても不規則格子のままで規則格子に変態できないからである。

【0162】

図10に示すように、前記下部シールド層20の突出部20a上に形成されたシード層22上から前記第1反強磁性層30上にかけて第1の磁性層29が形成され、前記第1の磁性層29上に非磁性中間層28を介して第2の磁性層27が形成される。前記第1の磁性層29と第2の磁性層27と非磁性中間層28とで人工フェリ構造の固定磁性層26が形成される。前記第1の磁性層29と第2の磁性層27はハイト方向（図示Y方向）に平行であって互いに反平行状態を保つ

て磁化固定されている。

【0163】

前記固定磁性層26上には非磁性材料層25が形成され、前記非磁性材料層25はトラック幅方向（図示X方向）における中央部25cが突出し、その両側端部25dが凹んだ形状となっている。前記非磁性材料層25の中央部25c上にはフリー磁性層24及びTaなどで形成された保護層46が形成され、前記非磁性材料層25の両側端部25d上から少なくとも前記フリー磁性層24のトラック幅方向における両側端面にかけて永久磁石層41が形成されている。前記永久磁石層41の下面是、少なくとも前記固定磁性層26の上側に位置していることが好ましい。前記永久磁石層41の下面が、前記固定磁性層26の表面よりも下側に位置すると、前記固定磁性層26のトラック幅方向への両側端部を一部削ることになり、これにより前記固定磁性層26の磁化固定を適切に行うことができなくなるので、前記永久磁石層41の下面是、少なくとも前記固定磁性層26の上側に位置していることが必要である。

【0164】

なお図10では、少なくとも前記永久磁石層41と前記非磁性材料層25の両側端部25dとの間にCrなどで形成されたバイアス下地層40が形成されることが、前記永久磁石層41の特性（保磁力Hcや角形比S）を向上させることができて好ましい。また前記バイアス下地層40の下にTa層が設けられると、前記バイアス下地層40の体心立方構造の結晶配向を適正化でき、前記永久磁石層41の特性（保磁力Hcや角形比S）を向上させることができてさらに好ましい。上記したバイアス下地層やTa層が設けられる場合には、これらの層の下面是、少なくとも前記固定磁性層26の上側に位置していることが必要である。

【0165】

図10に示すように前記永久磁石層41の上にはTaなどで形成された拡散防止層45を介して電極層33が形成される。

【0166】

図10に示す磁気検出素子も、図1ないし図8に示す磁気検出素子と同様に、前記固定磁性層26が、第1の反強磁性層30と接する側の第1の磁性層29と

、前記第1の磁性層29と膜厚方向で対向する第2の磁性層27と、前記第1の磁性層29と第2の磁性層27間に介在する非磁性中間層28とを有して構成されている。前記第1の磁性層29と第2の磁性層27間にはRKKY相互作用による反平行結合磁界が生じるため、両磁性層27、29の磁化は反平行状態になっている。

【0167】

前記第1の反強磁性層30は、前記第1の磁性層29の両側端部29a下に厚い膜厚で形成されている。このため交換結合磁界は前記第1の磁性層29の両側端部29aとの間で生じ、前記第1の磁性層29及び第2の磁性層27の両側端部29a、27aの磁化は前記交換結合磁界とRKKY相互作用等により反平行状態を保ちながらハイト方向（図示Y方向）と平行な方向に固定されている。

【0168】

一方、前記固定磁性層26の中央部における第1の磁性層29の下には前記第1の反強磁性層30が形成されておらず、よって前記第1の磁性層29の中央部29bには交換結合磁界は生じていないが、前記第1の磁性層29及び第2の磁性層27の中央部29b、27bでは各磁性層内部の交換相互作用により媒介されたバイアス磁界や上記したRKKY相互作用によって反平行状態を保ってハイト方向（図示Y方向）と平行な方向に固定されている。したがって図10に示す実施の形態であれば、前記固定磁性層26の磁化固定を適切に行うことが可能である。

【0169】

図10に示す構造の磁気検出素子であれば、前記第1の磁性層29の中央部29bの下に第1の反強磁性層30bが無く、あっても前記第1の反強磁性層30と同じ組成の非磁性金属層が50Åよりも薄い膜厚で形成されるので、前記電極層33から主に非磁性材料層25を中心として流れるセンス電流が、前記第1の反強磁性層30に分流することが少なくなり、分流ロスを軽減できる結果、再生出力の向上を図ることが可能である。

【0170】

また前記第1の磁性層29の中央部29bの下に前記第1の反強磁性層30と

同じ組成の非磁性金属層を設けないか、あるいは設けても 50 Å よりも薄い膜厚とすることで、素子中央部でのシールド層 20、36 の間隔は狭まり、いわゆる狭ギャップ化を図ることが可能である。

【0171】

さらに前記第1の磁性層 29 の中央部 29b の下に前記第1の反強磁性層 30 と同じ組成の非磁性金属層を設けないか、あるいは設けても 50 Å よりも薄い膜厚とすることで、前記固定磁性層 26 の素子中央部での磁気的な静電破壊 (soft ESD) は起こりにくくなる。

【0172】

このように、図 10 に示す磁気検出素子の構造では、固定磁性層 26 の磁化を適切にハイト方向に磁化固定できるとともに、再生出力の向上や狭ギャップ化等も図ることができ、今後の更なる高記録密度化に適切に対応可能な磁気検出素子を提供することができる。

【0173】

また図 10 に示す磁気検出素子では、前記永久磁石層 41 間に設けられたフリー磁性層 24 のトラック幅方向における最小幅寸法が $W_f 3$ である（図 10 の実施形態では前記最小幅寸法 $W_f 3$ はトラック幅 T_w と同じ寸法である）。

【0174】

また前記第1の反強磁性層 30 間に形成された間隔 C はトラック幅方向に最小寸法 W_P で形成される。

【0175】

そして図 10 に示す実施の形態では、前記最小幅寸法 $W_f 3$ は最小寸法 W_P と同じかあるいはそれよりも小さくなっている。このように最小幅寸法 $W_f 3$ を最小寸法 W_P と同じかあるいはそれよりも小さくすることで、フリー磁性層 24 は確実にシールド層 20、36 の膜厚方向への間隔（いわゆるギャップ長）が最も狭い間に位置し、再生パルス幅（ $PW50$ ）の広がりや分解能の低下を抑制できる。

【0176】

図 10 に示す実施の形態では、前記永久磁石層 41 の上に拡散防止層 45 を介

して電極層33が設けられ、前記電極層33から、固定磁性層26、非磁性材料層25及びフリー磁性層24等で構成される多層膜へ向けて流れるセンス電流は各層を膜面と平行な方向（図示X方向）に流れる。このとき前記センス電流を流すことによって形成されるセンス電流磁界の向きは、前記固定磁性層26を構成する第1の磁性層29と第2の磁性層27との合成磁気モーメントの向きと一致していることが前記固定磁性層26の磁化固定をさらに強固なものにできて好ましい。前記合成磁気モーメントの向きとセンス電流磁界の向きとの一致のさせ方については図13及び図14で説明したのでそちらを参照されたい。

【0177】

また前記固定磁性層26の単位面積当たりの合成磁気モーメントの好ましい範囲等については図1で説明した通りなのでそちらを参照されたい。但し図10の場合は、後述の製造方法で説明する第2の磁場中アニールを行う必要が無いため、スピニップル磁界を特に大きくする必要が無く、合成磁気モーメントを0T・nmより大きくしなくてもよい。

【0178】

図11は、本発明における磁気検出素子（スピニップル型薄膜素子）の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。図11に示す磁気検出素子は図10と同様にフリー磁性層24が第1の反強磁性層30よりも上側に形成されるタイプである。なお図10と同じ符号が付けられている層は図10と同じ層であるので、説明を省略する。

【0179】

図11に示す磁気検出素子では、図10の磁気検出素子と下部シールド層20から固定磁性層26までの構成が同じである。

【0180】

前記固定磁性層26上にはトラック幅方向にはほぼ均一な膜厚の非磁性材料層25が形成され、さらに前記非磁性材料層25の上にフリー磁性層24が形成されている。

【0181】

図11に示すように前記フリー磁性層24上には非磁性中間層52が形成され

、前記フリー磁性層24のトラック幅方向（図示X方向）における両側端部24a上に前記非磁性中間層52を介して強磁性層48が形成され、前記強磁性層48間のトラック幅方向（図示X方向）における間隔よりも広い間隔を有する第2反強磁性層23が前記強磁性層48上に形成されている。また前記第2の反強磁性層23上には、Crなどで形成されたストッパ層53、Taなどで形成された保護層49、Crなどで形成されたストッパ層50及びTaなどで形成された保護層51が形成されている。

【0182】

厚い膜厚で形成された前記第2の反強磁性層23と膜厚方向（図示Z方向）で重なる前記強磁性層48は前記第2の反強磁性層23との間で発生する交換結合磁界によってトラック幅方向（図示X方向）に強固に磁化固定される。またこの磁化固定された強磁性層48と膜厚方向で対向する領域のフリー磁性層24は、前記強磁性層48との間で発生するRKKY相互作用による交換結合によって前記強磁性層48とは反対方向に磁化固定される。

【0183】

一方、前記第2反強磁性層23の内側端面23bよりも前記トラック幅方向（図示X方向）の中心方向に延出する領域の強磁性層48及びその強磁性層48と膜厚方向（図示Z方向）で対向する領域のフリー磁性層24には、前記強磁性層48内部及びフリー磁性層24内部の交換相互作用により媒介されたバイアス磁界の他に、強磁性層48とフリー磁性層24との間で生じるRKKY相互作用による交換結合も作用し、これによって前記第2の反強磁性層23の内側端面23bよりも前記トラック幅方向（図示X方向）の中心方向に延出する領域の強磁性層48及びフリー磁性層24の感度はより鈍化し、この領域での感度をゼロにすることもできる。

【0184】

また前記フリー磁性層24のトラック幅方向における中央部24bには、膜厚方向に非磁性中間層52を介して強磁性層48は形成されていない。したがって前記フリー磁性層24の中央部24bには、磁性層内部の交換相互作用により媒介されたバイアス磁界のみが働き、第2の反強磁性層23との間でのRKKY相

互作用による交換結合は働かないから、前記フリー磁性層24の中央部24bは外部磁界に対し感度良く磁化反転できる程度に弱く単磁区化された状態となっている。

【0185】

また、前記フリー磁性層24と前記強磁性層48との単位面積当たりの合成磁気モーメント(Ne_t Ms_t)は、0T・nmより大きく2.6T・nm以下であることが好ましい。前記Ne_t Ms_tを上記した範囲内に設定することで、前記フリー磁性層24と強磁性層48とが膜厚方向で重なる部分の再生感度を適切に低減させることができ、具体的には感度{Δv(±1000e) / ΔV(±40000e)}を0.2以下に抑えることができる。

【0186】

またNe_t Ms_tをプラス側、すなわちフリー磁性層の単位面積当たりの磁気モーメントを前記強磁性層の単位面積当たりの磁気モーメントよりも大きくする理由は、再生波形の安定性を向上させると共に、フリー磁性層24の磁化方向を制御するための磁場中アニール工程を容易に行うことができるようにするためである。

【0187】

また本発明では、前記フリー磁性層24の膜厚(t)から前記強磁性層48の膜厚(t)を引いた膜厚差は、0Å以上で30Å以下であることが好ましい。前記膜厚差を上記した範囲内に設定することで、前記フリー磁性層24と強磁性層48とが膜厚方向で重なる部分の再生感度を適切に低減させることができ、具体的には感度{Δv(±1000e) / ΔV(±40000e)}を0.2以下に抑えることができる。またフリー磁性層24の膜厚を強磁性層48の膜厚より厚くすると、上記したNe_t Ms_tをプラス側にする効果と同じ効果を得ることができる。

【0188】

なお図10で説明した最小幅寸法Wf3は、図11では前記強磁性層48間のトラック幅方向における間隔の最小幅寸法Wf4であり、前記最小幅寸法Wf4は最小寸法WPと同じかあるいはそれよりも小さくすることで、フリー磁性層2

4の中央部24bをシールド層20、36の膜厚方向への間隔（いわゆるギャップ長）が最も狭い間に位置させることができ、再生パルス幅（PW50）の広がりや分解能の低下を抑制できる。

【0189】

図12は、本発明における磁気検出素子（スピンドル型薄膜素子）の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。図12に示す磁気検出素子は図10及び図11と同様にフリー磁性層24が第1の反強磁性層30よりも上側に形成されるタイプである。なお図10及び図11と同じ符号が付けられている層は図10及び図11と同じ層であるので、説明を省略する。

【0190】

図12では前記下部シールド層20上に下部ギャップ層21及びシード層22が形成され、前記シード層22の表面は平らである。この平らな表面上に前記第1の反強磁性層30が形成され、前記第1の反強磁性層30はトラック幅方向の両側端部30cで膜厚が厚くなっている。また前記第1の反強磁性層30と同じ組成を持つ中央部30dに残された非磁性金属層は非常に薄い、具体的には50Åよりも薄い膜厚となっているが、前記中央部30dに、前記第1の反強磁性層30と同じ組成を持つ非磁性金属層が形成されていなくてもよい。

【0191】

前記第1の反強磁性層30が平らな表面上に形成され、前記第1の反強磁性層30の両側端部での膜厚が厚く形成されるので、磁気検出素子の両側端部は盛り上がり、素子の中央部が凹んだ形状となる。図12では前記フリー磁性層24の磁化制御層として強磁性層48と第2の反強磁性層23を使用している。これら層の形状等については図11で説明したのでそちらを参照されたい。

【0192】

また図12の構造の磁気検出素子でも図10と同じ効果を得ることができ、すなわち固定磁性層26の磁化を適切にハイト方向に磁化固定できるとともに、再生出力の向上や狭ギャップ化等も図ることができ、今後の更なる高記録密度化に適切に対応可能な磁気検出素子を提供することができる。

【0193】

図15は、本発明における磁気検出素子（スピンドル型薄膜素子）の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

【0194】

図15はデュアルスピンドル型薄膜素子と呼ばれる構造である。図1ないし図12に示す磁気検出素子は、すべてフリー磁性層24と固定磁性層26とが一層づつ設けられていたが、図15では、フリー磁性層24が一層で固定磁性層26、64が2層設けられており、前者をシングルスピンドル型薄膜素子と後者をデュアルスピンドル型薄膜素子と呼ぶ。デュアルスピンドル型薄膜素子の構造の方がシングルスピンドル型薄膜素子よりも抵抗変化率を大きくしやすいといった効果はあるが、一方、ギャップ長が広がったりするなどのデメリットもある。

【0195】

図15は、図7と磁気検出素子の構造が似ており、いわば図7に示す磁気検出素子をデュアルスピンドル型薄膜素子の形にしたのが図15である。

【0196】

すなわち図15では、シード層22上に第3の反強磁性層60が設けられ、この上に下側の固定磁性層64が設けられる。前記固定磁性層64は第1の磁性層61と前記第1の磁性層61に膜厚方向で対向する第2の磁性層63と両磁性層61、63間に介在する非磁性中間層62との3層で形成された人工フェリ構造である。

【0197】

前記下側の固定磁性層64上には非磁性材料層65を介してフリー磁性層24が形成されており、前記非磁性材料層65上の膜構成及び形状は図7と同じである。

【0198】

図15では、前記シード層22から上側の固定磁性層26を構成する非磁性中間層28までの各層のトラック幅方向（図示X方向）の両側に、下からバイアス下地層40、永久磁石層41、保護層42及びシード層22が積層された素子両側領域Bが形成されている。

【0199】

図16は、本発明における磁気検出素子（スピニバルブ型薄膜素子）の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図であり、図15と同様にデュアルスピニバルブ型薄膜素子の構造である。

【0200】

図16に示す磁気検出素子は、図10と磁気検出素子の構造が似ており、いわば図10に示す磁気検出素子をデュアルスピニバルブ型薄膜素子の形にしたのが図16である。

【0201】

図16では、下部シールド層20から前記非磁性材料層25までの構造は図10と同じであり、前記非磁性材料層25のトラック幅方向（図示X方向）の中央部からフリー磁性層24、非磁性材料層65、第1の磁性層61と第2の磁性層63と両磁性層61、63間に介在する非磁性中間層62との3層の人工フェリ構造で形成された固定磁性層64、第3の反強磁性層60及びTaなどの保護層67が積層形成され、前記フリー磁性層24から前記保護層67までのトラック幅方向の両側に下からTaなどで形成された下地層66、バイアス下地層40、永久磁石層41、拡散防止層45及び電極層33が形成されている。

【0202】

図15及び図16に示すように、フリー磁性層24よりも上側あるいは下側のどちらかに形成された固定磁性層26と第1の反強磁性層30との交換結合膜が図1ないし図12に示すシングルスピニバルブ型薄膜素子の前記交換結合膜と同じ構造で、すなわち前記固定磁性層26は人工フェリ構造で、少なくとも前記第1の反強磁性層30は前記固定磁性層26のトラック幅方向における両側端部と膜厚方向で接する位置に設けられ、前記第1の反強磁性層30との間で発生する交換結合磁界は前記固定磁性層26を構成する第1の磁性層29の両側端部との間でのみ生じている。

【0203】

よってデュアルスピニバルブ型薄膜素子の構造を図15あるいは図16に示す構造とすることで、固定磁性層26の磁化を適切にハイト方向に磁化固定できる

とともに、再生出力の向上や狭ギャップ化等も図ることができ、今後の更なる高記録密度化に適切に対応可能な磁気検出素子を提供することができる。

【0204】

また図15及び図16では、もう一方の固定磁性層64と膜厚方向から接する第3の反強磁性層60は前記固定磁性層64の上面あるいは下面の全面に設けられているが、前記第1の反強磁性層30と同様に、少なくとも前記第3の反強磁性層60を前記固定磁性層64のトラック幅方向における両側端部と膜厚方向で接する位置に設け、前記第3の反強磁性層60との間で発生する交換結合磁界を前記固定磁性層64を構成する第1の磁性層61の両側端部との間でのみ生じるものとすれば、さらに再生出力の向上や狭ギャップ化等も図ることができ、今後の更なる高記録密度化に適切に対応可能な磁気検出素子を提供することができる。

【0205】

図17は、本発明における磁気検出素子（スピンドル型薄膜素子）の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

【0206】

図1ないし図16に示す磁気検出素子は、前記電極層33からのセンス電流が、固定磁性層26、非磁性材料層25及びフリー磁性層24等で構成される多層膜の各膜面に対しほぼ平行な方向に流れるCIP (current in the plane)型となっているが、図1ないし図16に示す磁気検出素子の構成を、前記センス電流が前記多層膜の各層を膜厚方向に流れるCPP (current perpendicular to the plane)型の磁気検出素子にも適用可能である。

【0207】

図17は図1に示す磁気検出素子をCPP型とした実施形態である。なお図1と同じ符号が付けられている層は図1と同じ層を示している。

【0208】

図17に示す実施形態では、下部シールド層20はシールド層とともに下部電極層としても機能する。前記下部シールド層20上に絶縁材料のギャップ層を設け無い方が素子の寄生抵抗を低減できる点で好ましく、前記下部シールド層20

上にはシード層22が設けられ、このシード層22が下部ギャップ層として機能する。

【0209】

図17では図1の電極層33であった部分が絶縁層70となり、Taなどの非磁性材料で形成された保護層71が前記絶縁層70上から、前記第1の反強磁性層30間の間隔C内から露出する第1の磁性層29上にかけて形成され、前記保護層71上に上部シールド層36が形成される。前記保護層71が上部ギャップ層として機能し、前記上部シールド層36がシールド層とともに上部電極層としても機能している。

【0210】

なお図17に示す前記非磁性材料層25は、例えばCuで形成されているが、スピントンネル効果の原理を用いたトンネル型磁気抵抗効果素子（TMR素子）の場合、前記非磁性材料層25は、例えばAl₂O₃等の絶縁材料で形成される。

【0211】

図17のようなCPP型の磁気検出素子としても図1と同様に、固定磁性層26の磁化を適切にハイト方向に磁化固定できるとともに、狭ギャップ化等を図ることができ、今後の更なる高記録密度化に適切に対応可能な磁気検出素子を提供することができる。

【0212】

ところで上記では、第1の反強磁性層30は、固定磁性層26を構成する第1の磁性層29の両側端部の上面あるいは下面に設けられ、トラック幅方向（図示X方向）における前記第1の反強磁性層30間に形成された間隔C内には、前記第1の反強磁性層30と同じ組成の非磁性金属層が設けられていても設けられていなくてもどちらでもよい、と説明したが、前記非磁性金属層が設けられる場合には、以下のような工夫を施すことが、前記固定磁性層26の中央部での磁化をさらに好ましく固定できる点で望ましい。

【0213】

図18は、図1に示す磁気検出素子において、第1の反強磁性層30間の間隔

C内に非磁性金属層100が設けられた構造を示している。

【0214】

非磁性金属層100は、その両側に形成された第1の反強磁性層30と同じ組成で形成されているから、例えば前記非磁性金属層100は、PtMn合金、または、X—Mn（ただしXは、Pt, Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Feのいずれか1種または2種以上の元素である）合金によって形成されている。

【0215】

前記非磁性金属層100の膜厚は、前記第1の反強磁性層30の膜厚に比べて薄く、5Å以上50Å以下であることが好ましい。

【0216】

PtMn合金、または、X—Mn（ただしXは、Pt, Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Feのいずれか1種または2種以上の元素である）からなる非磁性金属層100の膜厚がこの範囲内であると、非磁性金属層100の結晶構造は、成膜時の状態である面心立方構造（fcc）を維持しつづける。なお、非磁性金属層100の膜厚が、50Åより大きくなると、約250℃以上の熱が加わったときに、非磁性金属層100の結晶構造が、前記第1の反強磁性層30と同様に、CuAuI型の規則型の面心正方構造（fcc）に構造変態するので好ましくない。ただし、前記非磁性金属層100の膜厚が、50Åより大きくても、約250℃以上の熱が加わらなければ、前記非磁性金属層100の結晶構造は、成膜時の状態である面心立方構造（fcc）を維持しつづける。

【0217】

PtMn合金、または、X—Mn（ただしXは、Pt, Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Feのいずれか1種または2種以上の元素である）からなる非磁性金属層100が面心立方構造（fcc）の結晶構造を有するとき、この非磁性金属層100と第1磁性層29の中央部29bとの界面には交換結合磁界は発生しないか、または極めて弱く、交換結合磁界によって第1磁性層29の中央部29bの磁化方向を固定することはできない。この点は既に上述した通りであり、前記第1の磁性層29には、磁性層内部の交換相互作用により媒介されたバイアス磁界やRKY相互作用による結合磁界が作用している。

【0218】

この図18では、上記作用以外に固定磁性層26の中央部での一軸異方性をも加味して、固定磁性層26の中央部での磁化固定を安定化させるといったものである。

【0219】

図18に示す実施の形態では、第2磁性層27の膜厚の方が、第1磁性層29の膜厚より大きくなっている。例えば第2磁性層27の磁化はハイト方向（図示Y方向）を向き、第1磁性層29の磁化はハイト方向と反平行方向を向いた状態で磁化が固定されている。

【0220】

第1磁性層29の膜厚は10Å～30Åであり、第2磁性層27の膜厚は15Å～35Åである。第1磁性層29の膜厚を厚くすると、固定磁性層26の磁化を固定するバイアス磁界は大きくなる。しかし、第1磁性層29の膜厚が大きいと分流損失が大きくなる。また、第1磁性層29の中央部29bは、非磁性金属層100と整合することによって結晶構造に歪みが生じ、この歪みによって磁歪定数 λ 及び一軸異方性を大きくしている。しかし、第1磁性層29の膜厚が大きいと、第1磁性層29の中央部29bの界面附近に生じる歪みが第1磁性層全体の体積から見ると相対的に小さくなり、磁歪定数 λ 及び一軸異方性も小さくなってしまう。

【0221】

この実施の形態では、固定磁性層26の中央部の磁化を固定する一軸異方性を決める、誘導磁気異方性と磁気弾性効果のうち、磁気弾性効果を主に利用している。

【0222】

磁気弾性効果は、磁気弾性エネルギーに支配される。磁気弾性エネルギーは、固定磁性層26にかかる応力 σ と固定磁性層26の中央部の磁歪定数 λ によって規定される。

【0223】

図21は、図18に示された磁気検出素子を図示上側（図示Z方向と反対方向

) からみた部分平面図である。なお図21には、磁気検出素子Tを構成する各層のうち、電極層33と第1の磁性層29を図示し、他の層を図示していない。

【0224】

また図21に示すように磁気検出素子Tの周囲は、斜線で示される絶縁材料層110によって埋められている。

【0225】

また前記磁気検出素子Tの記録媒体との対向面側の端面Fは露出しているか、またはダイヤモンドライクカーボン（DLC）などからなる膜厚20Å～50Åの薄い保護層で覆われているだけであり、開放端となっている。

【0226】

従って磁気検出素子Tには、その上下に位置するギャップ層21, 35などからハイト方向（図示Y方向）に平行な方向に、引っ張り応力が加えられている。ギャップ層の応力は元々は2次元的に等方性のものであったが、端面Fが開放されたことによって対称性が崩れて一軸異方性の引張応力がハイト方向に加えられるようになったものである。

【0227】

さらに図21に示すように電極層33, 33からトラック幅方向に（図示X方向）に平行な方向及び反平行な方向に圧縮応力が発生し、この圧縮応力は磁気検出素子Tの下層側に伝播し、記録媒体との対向面側の端面Fが開放されている固定磁性層26に、ハイト方向の引張り応力とトラック幅方向の圧縮応力が加えられる。そして、第1磁性層29は、磁歪定数が正の値である磁性材料によって形成されているので、磁気弾性効果によって、第1磁性層29の磁化容易軸は磁気検出素子の奥側（ハイト方向；図示Y方向）に平行方向となる。

【0228】

図18に示す実施の形態では、固定磁性層26の中央部での磁歪定数を大きくすることによって、前記中央部に作用する磁気弾性エネルギーを大きくし、これによって、固定磁性層26の中央部での一軸異方性を大きくするものである。固定磁性層26の中央部での一軸異方性が大きくなると、固定磁性層26の中央部での磁化は、その両側のように第1の反強磁性層30との交換結合磁界が無くて

も一定の方向に強固に固定され、磁気検出素子の出力が大きくなりかつ出力の安定性や対称性も向上する。

【0229】

具体的には、固定磁性層26を構成する第1の磁性層29の中央部29bを、非磁性金属層100と接合させることによって、第1の磁性層29の中央部29bの結晶構造に歪みを生じさせて第1の磁性層29の中央部29bの磁歪定数 λ を大きくさせている。

【0230】

先に述べたように前記非磁性金属層100は、fcc構造をとり、界面と平行な方向に{111}面として表される等価な結晶面が優先配向するものである。

【0231】

一方、固定磁性層26の第1の磁性層29がCoまたはCo_xFe_y (y ≤ 20, x + y = 100) によって形成されていると、第1の磁性層29は面心立方格子(fcc)構造をとる。また、第1の磁性層29は、界面と平行な方向に、{111}面として表される等価な結晶面が優先配向している。

【0232】

従って、第1の磁性層29の中央部29bを構成する原子と非磁性金属層100を構成する原子が互いに重なりあいやすくなり、非磁性金属層100内の結晶と固定磁性層26内の中央部の結晶はエピタキシャルな整合状態になっている。

【0233】

しかし、第1の磁性層29の中央部29bでの{111}面内の最近接原子間距離と、非磁性金属層100の{111}面内の最近接原子間距離には、一定以上の差があることが必要である。

【0234】

前記非磁性金属層100を構成する原子と第1の磁性層29の中央部29bでの原子とを重なり合わせつつ、結晶構造に歪みを生じさせ、第1の磁性層29の中央部29bの磁歪を大きくするために、非磁性金属層100の材料である前記PtMn合金中のPt含有量、または、X-Mn合金中のX元素の含有量を調節することが好ましい。

【0235】

例えば、前記PtMn合金中のPt含有量、または、X-Mn合金中のX元素の含有量を、51原子%以上にすると、非磁性金属層100に重なる第1の磁性層29の中央部29bの磁歪が急激に増加する。また、前記PtMn合金中のPt含有量、または、X-Mn合金中のX元素の含有量が、55原子%以上95原子%以下であると、前記第1磁性層の中央部29bの磁歪が大きな値をとりつつ安定する。

【0236】

また、前記非磁性金属層100の{111}面内の最近接原子間距離と、固定磁性層26の第1の磁性層29の中央部29bでの{111}面内の最近接原子間距離との差を、第1の磁性層29の中央部29bでの{111}面内の最近接原子間距離で割った値（以下ミスマッチ値と呼ぶ）を、0.05以上0.20以下にすることが好ましい。

【0237】

本実施の形態の磁気検出素子では、図22に模式的に示すように、非磁性金属層100を構成する原子と第1の磁性層29の中央部29bでの原子とが重なり合いつつも、界面付近で結晶構造に歪みが生じている状態になる。

【0238】

図22において符号N1は第1の磁性層29の中央部29bでの{111}面内の最近接原子間距離を示しており、符号N2は非磁性金属層100の{111}面内の最近接原子間距離を示している。N1及びN2は、非磁性金属層100と第1の磁性層29の中央部29bの界面から離れた歪みの影響の少ないところで測定する。

【0239】

このように、第1の磁性層29の中央部29bの結晶構造に歪みが生じると、前記第1の磁性層29の中央部29bの磁歪定数 λ を大きくすることができるので、大きな磁気弾性効果を発揮することができる。

【0240】

ここで、前記非磁性金属層100と第1の磁性層29の中央部29bでのミス

マッチ値が小さすぎると、図23に模式的に示すように、非磁性金属層100の原子と第1の磁性層29の中央部29bの原子が重なりあったとき、界面付近の結晶構造に歪みが生じなくなり、第1の磁性層29の中央部29bの磁歪定数 λ を大きくすることができなくなる。

【0241】

また前記非磁性金属層100と第1の磁性層29の中央部29bでのミスマッチ値が大きくなりすぎると、図24に模式的に示すように前記非磁性金属層10の原子と第1の磁性層29の中央部29bの原子が重なりあわなくなり、非エピキヤシタルまたは非整合な状態になる。非磁性金属層100の原子と第1の磁性層29の中央部29bの原子が非エピキヤシタルまたは非整合な状態になるととも、界面付近の結晶構造に歪みが生じなくなり、第1の磁性層29の中央部29bの磁歪定数 λ を大きくすることができなくなる。

【0242】

また前記固定磁性層26の第1の磁性層29の中央部29bが、体心立方格子（b c c）構造をとり、界面と平行な方向に、{110}面として表される等価な結晶面が優先配向しているものであってもよい。

【0243】

例えば、固定磁性層26の第1の磁性層29が Co_xFe_y ($y \geq 20$, $x + y = 100$) によって形成されていると、第1の磁性層29は体心立方格子（b c c）構造をとる。

【0244】

上述したように前記非磁性金属層100は、f c c構造をとり、界面と平行な方向に{111}面として表される等価な結晶面が優先配向しているものである。

【0245】

b c c構造を有する結晶の{110}面として表される等価な結晶面の原子配列とf c c構造を有する結晶の{111}面として表される等価な結晶面の原子配列は類似しており、b c c構造を有する結晶とf c c構造を有する結晶を、各々の原子が重なり合った整合状態、いわゆるヘテロエピタキシャルな状態にすることができる。

【0246】

さらに、第1の磁性層29の中央部29bの{110}面内の最近接原子間距離と、非磁性金属層100の{111}面内の最近接原子間距離には、一定以上の差が生じている。このため、第1の磁性層29の中央部29bと非磁性金属層100の界面付近では、第1の磁性層29の中央部29bを構成する原子と非磁性金属層100を構成する原子が互いに重なり合いつつも、それぞれの結晶構造に歪みが生じる。従って、第1の磁性層29の中央部29bの結晶構造に歪を生じさせることによって、第1の磁性層29の中央部29bの磁歪定数 λ を大きくさせることができる。

【0247】

なお、bcc構造をとる Co_xFe_y ($y \geq 20$, $x+y=100$) は、fcc構造をとるCoまたは Co_xFe_y ($y \leq 20$, $x+y=100$) より、特に $y=50$ 附近の組成において磁歪定数 λ の値が大きいので、より大きな磁気弾性効果を発揮することができる。また、bcc構造をとる Co_xFe_y ($y \geq 20$, $x+y=100$) は、保磁力が大きく、固定磁性層26の中央部の磁化固定を強固にすることができる。

【0248】

なお、本発明では、第1の磁性層29の中央部29bと非磁性金属層100の界面付近で、第1の磁性層29の中央部29bを構成する原子と、非磁性金属層100を構成する原子の大部分が互いに重なり合う整合状態になっていればよい。例えば、図32に模式的に示すように、一部に、第1の磁性層29の中央部29bを構成する原子と、非磁性金属層100を構成する原子が重なり合わない領域があってもよい。

【0249】

また第2の磁性層27の材料には、bcc構造をとる Co_xFe_y ($y \geq 20$, $x+y=100$)、fcc構造をとるCoまたは Co_xFe_y ($y \leq 20$, $x+y=100$) のどちらを用いてもよい。

【0250】

第2の磁性層27の材料に、bcc構造をとる Co_xFe_y ($y \geq 20$, $x+$

$y = 100$ ）を用いると、正磁歪を大きくすることができる。 bcc 構造をとる Co_xFe_y （ $y \geq 20$, $x + y = 100$ ）は、保磁力が大きく、固定磁性層26の中央部での磁化固定を強固にすることができる。また、非磁性中間層23bを介した第1の磁性層29と第2の磁性層27間のRKKY相互作用が強くなる。

【0251】

一方、第2の磁性層27は、非磁性材料層25に接しており、磁気抵抗効果に大きな影響を及ぼす層なので、 fcc 構造をとる Co または Co_xFe_y （ $y \leq 20$, $x + y = 100$ ）を用いて形成すると磁気抵抗効果の劣化が少ない。

【0252】

また図18に示す実施の形態では、電極層33, 33が Cr （クロム）または $\alpha-Ta$ または Rh で形成され、しかも電極層33, 33の結晶格子面の膜面平行方向の面間隔が Cr （ bcc ）の $\{110\}$ 面の場合、0.2044nm以上、 $\alpha-Ta$ （ bcc ）の $\{110\}$ 面の場合、0.2337nm以上、 Rh （ fcc ）の $\{111\}$ 面の場合、0.2200nm以上であると、その下の固定磁性層26に加わる圧縮応力を大きくすることができる。このとき、図21に示される矢印方向、すなわち電極層33, 33の外側方向に向けて、電極層33, 33が延伸し、固定磁性層26に対し、トラック幅方向に（図示X方向）に平行な方向及び反平行な方向に圧縮応力が加えられる。

【0253】

前記電極層33, 33の結晶格子面の膜面平行方向の面間隔は、X線回折や電子線回折によって測定することができる。なお、バルク状態の Cr 、 $\alpha-Ta$ や Rh は、結晶格子面の膜面平行方向の面間隔が Cr （ bcc ）の $\{110\}$ 面で0.2040nm、 $\alpha-Ta$ （ bcc ）の $\{110\}$ 面で0.2332nm、 Rh （ fcc ）の $\{111\}$ 面で0.2196nmであり、前記面間隔がこの値以上になると電極層33, 33が固定磁性層26に対し圧縮応力を与えるように作用する。

【0254】

前記電極層33, 33を Cr によって形成したときと、 Au のような軟い金属

材料によって形成したときとでは、前記圧縮応力に以下のような違いが生じる。

【0255】

例えば、下から順に、バイアス下地層：Cr (50 Å) / ハードバイアス層：CoPt (200 Å) / 中間層：Ta (50 Å) / 電極層：Au (800 Å) / 保護層：Ta (50 Å) が積層された膜が生じさせる圧縮応力は、280 MPa である。

【0256】

これに対し、下から順に、バイアス下地層：Cr (50 Å) / ハードバイアス層：CoPt (200 Å) / 中間層：Ta (50 Å) / 電極層：Cr (1400 Å) / 保護層：Ta (50 Å) が積層された膜が生じさせる圧縮応力は、670 MPa である。

【0257】

なお前記電極層33, 33をスパッタ成膜するときには、イオンビームスパッタ法を用い、スパッタ装置内のAr またはXe、Kr等の圧力を 5×10^{-3} Pa ~ 1×10^{-1} Pa に小さくする。スパッタ装置内のAr またはXe、Kr等の圧力が小さいと、電極層33を形成するCr等の原子がAr またはXe等の原子に衝突する確率が減少するので、Cr等の原子は高いエネルギーを保持したまま堆積していく。既に成膜されているCr等の膜に、ターゲットから飛来したCr等の原子が大きなエネルギーをもって衝突して埋め込まれていくと、電極層33, 33が外側方向に向けて延伸する。

【0258】

また図5などのように固定磁性層26のトラック幅方向の両端部に一部、永久磁石層41が重なる場合には、前記永久磁石41が発生する縦バイアス磁界によって、前記固定磁性層26の磁化方向が傾きやすくなっている。このためフリー磁性層24の磁歪は負磁歪にすることが好ましい。上記したように、磁気検出素子には、両側から圧縮応力が加わっているので、負磁歪のフリー磁性層24は磁気弾性効果によって、トラック幅方向（図示X方向）に平行または反平行方向が磁化容易軸になりやすくなる。

【0259】

フリー磁性層24のトラック幅方向の両端部は反磁界によって磁化が不安定になりやすい。しかし、フリー磁性層24のトラック幅方向の両端部は、永久磁石層41に近く、大きな圧縮応力が加わる。従って、フリー磁性層24のトラック幅方向の両端部は、磁気弾性効果による異方性が大きくなり、磁化方向が安定化する。

【0260】

従って永久磁石層41, 41の膜厚を小さくして、縦バイアス磁界を小さくしてもフリー磁性層24を安定した单磁区状態にすることができる。永久磁石層41, 41の膜厚を小さくして、縦バイアス磁界を小さくできると、固定磁性層26のハイト方向への磁化固定状態を安定化できる。

【0261】

なお、フリー磁性層24の中央部付近の圧縮応力は、両端部の圧縮応力よりも小さいので、磁界検出感度の低下を抑えることができる。

【0262】

フリー磁性層24の磁歪定数 λ は、 $-8 \times 10^{-6} \leq \lambda \leq -0.5 \times 10^{-6}$ の範囲であることが好ましい。また永久磁石層41, 41の膜厚は $100 \text{ \AA} \leq t \leq 200 \text{ \AA}$ であることが好ましい。前記フリー磁性層24の磁歪 λ が負に大きすぎると、或は永久磁石層41, 41の膜厚が厚すぎると磁気検出素子の再生感度が低下する。一方、フリー磁性層24の磁歪 λ が大きすぎると、或は永久磁石層41, 41の膜厚が薄すぎると磁気検出素子の再生波形に乱れが生じやすい。

【0263】

図19は、図10に示す磁気検出素子の変形例であり、図18と同様にトラック幅方向における第1の反強磁性層30間に、膜厚の薄い、前記第1の反強磁性層30と同じ組成の非磁性金属層100が形成されている。前記非磁性金属層100及び第1の磁性層29の好ましい形態に関しては図18に詳しく説明したので、そちらを参照されたい。

【0264】

図20は、図19に示す磁気検出素子の変形例である。図20では、前記第1の反強磁性層30間に形成された前記非磁性金属層100と、シード層22間に

、Ru、Re、Os、Ti、Rh、Ir、Pd、Pt、Alから選ばれる1種あるいは2種以上からなる非磁性金属層102が介在している。

【0265】

Ruなどからなる非磁性金属層102の{111}面内又はC面内の最近接原子間距離は、PtMn合金、または、X—Mn（ただしXは、Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Feのいずれか1種または2種以上の元素である）からなる非磁性金属層100の{111}面内の最近接原子間距離より小さい値を有し、かかる場合、シード層22から非磁性金属層100にかけて、膜面平行方向の最近接原子間距離を段階的に広げることができ、第1の磁性層29の中央部29bに必要以上の歪みが生じて部分的に非整合となる領域が増えることを抑えることができる。

【0266】

図25ないし図27は、固定磁性層26の他の様態を示す部分断面図である。なお図25ないし図27に示す固定磁性層26は、図19の素子中央部附近を拡大したものである。

【0267】

図25に示されるように、固定磁性層26を構成する第1の磁性層29は、非磁性金属層100側にfcc磁性層29b1が設けられ、非磁性中間層28側にbcc磁性層29b2が設けられたものであってもよい。

【0268】

fcc磁性層29b1とは、面心立方格子（fcc）構造をとり、界面と平行な方向に{111}面として表される等価な結晶面が優先配向する磁性層であり、bcc磁性層29b2とは、体心立方格子（bcc）構造をとり、界面と平行な方向に{110}面として表される等価な結晶面が優先配向している磁性層である。

【0269】

fcc磁性層29b1は、CoまたはCo_xFe_y（y≤20, x+y=100）を用いて形成され、bcc磁性層29b2は、Co_xFe_y（y≥20, x+y=100）によって形成される。

【0270】

第1の磁性層29の非磁性中間層28側の界面付近をbcc構造にすることにより、前記第1の磁性層29の中央部29bでの磁歪定数 λ の値を大きくし、大きな磁気弾性効果を発揮させることができる。また、非磁性中間層28側の組成が、 Co_xFe_y ($y \geq 20$, $x+y=100$) であると、非磁性中間層28を介した第1の磁性層29と第2の磁性層27間のRKKY相互作用が強くなる。

【0271】

一方、第1の磁性層29の非磁性金属層100側の界面付近をfcc構造にすると、固定磁性層26の中央部、非磁性材料層25の中央部及びフリー磁性層24の中央部の結晶配向性が一定になり、結晶粒も大きくなつて磁気抵抗変化率(MR比)を高くすることができる。

【0272】

また図26に示されるように、固定磁性層26を構成する第2の磁性層27は、非磁性材料層25側にfcc磁性層27b2が設けられ、非磁性中間層28側にbcc磁性層27b1が設けられたものであつてもよい。

【0273】

fcc磁性層27b2とは、面心立方格子(fcc)構造をとり、界面と平行な方向に{111}面として表される等価な結晶面が優先配向する磁性層であり、bcc磁性層27b1とは、体心立方格子(bcc)構造をとり、界面と平行な方向に{110}面として表される等価な結晶面が優先配向している磁性層である。

【0274】

fcc磁性層27b2は、Coまたは Co_xFe_y ($y \leq 20$, $x+y=100$) を用いて形成され、bcc磁性層27b1は、 Co_xFe_y ($y \geq 20$, $x+y=100$) によって形成される。

【0275】

第2の磁性層27の非磁性中間層28側の界面付近をbcc構造にすることにより、前記第2の磁性層27の中央部27bでの磁歪定数 λ の値を大きくでき、大きな磁気弾性効果を発揮させることができる。また、非磁性中間層28側の組

成が、 Co_xFe_y ($y \geq 20$, $x + y = 100$) であると、非磁性中間層28を介した第1の磁性層29と第2の磁性層27間のRKKY相互作用が強くなる。

【0276】

一方、第1の磁性層29の中央部29bの非磁性金属層100側の界面付近をfcc構造にすることによって、磁気抵抗効果の劣化を抑えることができる。

【0277】

または、図27に示されるように、固定磁性層26を構成する第1の磁性層29は、非磁性金属層100側にfcc磁性層29b1が設けられ、非磁性中間層28側にbcc磁性層29b2が設けられたものであり、かつ、第2の磁性層27は、非磁性材料層25側にfcc磁性層27b2が設けられ、非磁性中間層28側にbcc磁性層27b1が設けられたものであってもよい。

【0278】

なお、図25ないし図27では、第1の磁性層29をfcc磁性層27b1とbcc磁性層27b2とが積層された構造にし、または、第2の磁性層27を、bcc磁性層27b1とfcc磁性層27b2とが積層された構造にしている。

【0279】

しかし、本発明では、固定磁性層26の第1の磁性層29が、非磁性金属層100側の界面付近で、面心立方格子(fcc)構造をとり、界面と平行な方向に{111}面として表される等価な結晶面が優先配向し、非磁性中間層28側の界面付近で、体心立方格子(bcc)構造をとり、界面と平行な方向に、{110}面として表される等価な結晶面が優先配向していればよい。

【0280】

従って、固定磁性層26の第1の磁性層29は、非磁性金属層100側の界面付近でCoまたは Co_xFe_y ($y \leq 20$, $x + y = 100$) の組成を有し、fcc構造をとり、界面と平行な方向に{111}面として表される等価な結晶面が優先配向し、非磁性金属層100側の界面付近から非磁性中間層28側の界面に向かうに連れて、Fe濃度が徐々に大きくなつて、非磁性中間層28側の界面付近で、 Co_xFe_y ($y \geq 20$, $x + y = 100$) の組成を有し、体心立方格子

(b c c) 構造をとり、界面と平行な方向に、{110}面として表される等価な結晶面が優先配向したものであってもよい。

【0281】

また、第2の磁性層27も同様に、非磁性材料層25側の界面付近から非磁性中間層28側の界面に向かうに連れて、Fe濃度が徐々に大きくなるCoFe合金で形成されてよい。

【0282】

図28ないし図32は図1に示す磁気検出素子の製造方法を示す一工程図である。図28ないし図32に示す各工程は記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

【0283】

図28に示す工程では、まず下部シールド層20、下部ギャップ層21、シールド層22、第2の反強磁性層23、フリー磁性層24、非磁性材料層25、第1の磁性層29と第2の磁性層27と両磁性層27、29間に介在する非磁性中間層28との3層で構成された人工フェリ構造の固定磁性層26を図28の形状で形成した後、前記第1の磁性層29の上に薄い膜厚の第1の反強磁性層と同じ組成の非磁性金属層30eを成膜し、さらに前記非磁性金属層30eの上にRuやCrなどで形成された非磁性層80を成膜する。前記非磁性層80は前記非磁性金属層30eを酸化から防止するための保護層である。

【0284】

前記非磁性金属層30eの膜厚は50Åよりも薄い膜厚であり、この程度の薄い膜厚であれば、次の工程で磁場中アニールを施しても前記非磁性金属層30eは、下地である第1の磁性層29との結合による拘束力によって不規則格子から規則格子に変態できず、このため反強磁性を有さず、前記第1の磁性層29間に交換結合磁界は生じない。つまり前記非磁性金属層30eは不規則結晶構造のままである。

【0285】

図28に示す形状の積層膜を成膜後、1回目の磁場中アニールを施す。トラック幅Tw(図示X方向)と平行な方向である第1の磁界(図示X方向)を印加し

つつ、第1の熱処理温度で熱処理し、第2の反強磁性層23とフリー磁性層24の両側端部24a間に交換結合磁界を発生させて、前記フリー磁性層24の両側端部24aの磁化を図示X方向に固定する。

【0286】

前記フリー磁性層24の中央部24bの下には非常に膜厚の薄い、具体的には50Åよりも薄い膜厚で形成された第2の反強磁性層23と組成の材料層が存在するが、膜厚が薄いために前記フリー磁性層24の中央部24bと第2の反強磁性層23間には前記交換結合磁界は発生せず、前記フリー磁性層24の中央部24bは外部磁界に対し磁化反転できる程度に弱く単磁区化された状態になっている。

【0287】

また上記したように1回目の磁場中アニールを施しても反強磁性層と同じ組成の非磁性金属層30eと第1の磁性層29間にも前記交換結合磁界は生じていない。

【0288】

次に図29に示す工程では、前記非磁性層80を低エネルギーのイオンビームエッティングで除去する。ここで「低エネルギーのイオンビームエッティング」とは、ビーム電圧（加速電圧）が1000V未満のイオンビームを用いたイオンミリングであると定義される。例えば、100V～500Vのビーム電圧が用いられる。本実施の形態では、200Vの低ビーム電圧のアルゴン（Ar）イオンビームを用いている。「低エネルギーのイオンビームエッティング」の定義は以下においても同じである。

【0289】

次に図30に示す工程では、前記非磁性層80を除去したことで露出した第1の反強磁性層と同じ組成の非磁性金属層30e上に重ねて反強磁性層と同じ組成でしかも前記非磁性金属層30eよりも厚い膜厚の上側反強磁性層30fを成膜し、前記非磁性金属層30e、及び上側反強磁性層30fの2層が一体化して第1の反強磁性層30が構成される。なお前記上側反強磁性層30fを成膜する際には、トータルで前記第1の反強磁性層30の膜厚が80Å～300Åの範囲内

になるように前記上側反強磁性層 30 f の膜厚を調整する。また前記非磁性金属層 30 e 及び上側反強磁性層 30 f の界面 30 g に非磁性層 80 の一部が残されても、前記非磁性金属層 30 e 及び上側反強磁性層 30 f が反強磁性結合して一体の反強磁性層として機能していればよい。

【0290】

図30に示すように前記第1の上側反強磁性層 30 f 上にはCrなどで形成されたストップ層 31 を成膜し、さらに前記ストップ層 31 上にTaなどで形成された保護層 32 を成膜し、前記保護層 32 の上にAuなどで形成された電極層 33 を成膜し、前記電極層 33 の上にTaなどで形成された保護層 34 を成膜する。

【0291】

次に図31に示す工程では、前記保護層 34 のトラック幅方向（図示X方向）の両側端部上に、マスク層 81 を設ける。前記マスク層 81 はメタル層であってもよいし、レジスト層であってもよい。

【0292】

図31に示すように前記マスク層 81 のトラック幅方向に形成された所定の間隔 81 a 内から露出する保護層 34 、電極層 33 及び保護層 32 をリアクティブ・イオン・エッチング（RIE）で除去する。エッチングガスとして、CF₄ や C₃F₈ あるいはArとCF₄の混合ガス、またはC₃F₈とArとの混合ガスを使用する。そうすると図31に示すように前記電極層 33 は磁気検出素子のトラック幅方向における両側端部にのみ残され、前記電極層 33 間に間隔Cが形成される。前記RIE工程はストップ層 31 が前記間隔C内から露出すると終了される。

【0293】

図32に示す工程では、間隔C内に露出するストップ層 31 、第1の反強磁性層 30 をイオンミリングで除去する。このイオンミリング時の削り込み量はSIMS分析計によって制御することが可能である。前記間隔C内から第1の磁性層 29 が露出した瞬間にイオンミリングを止める。なおこのイオンミリング工程でマスク層 81 も削られる。

【0294】

図32まで工程を施した後、図1に示す上部ギャップ層35や上部シールド層36を成膜し、さらに第2の磁場中アニールを施す。このときの磁場方向は、トラック幅方向と直交する方向（図示Y方向）である。なおこの第2の磁場中アニールは、第2の印加磁界を、第2の反強磁性層23の交換異方性磁界よりも小さく、また第1の磁性層29及び第2の磁性層27のスピンドロップ磁界よりも小さく、さらに前記第1の磁性層29及び第2の磁性層27の保磁力や異方性磁界よりも大きい値とする。なお前記第2の磁性層27の単位面積当たりの磁気モーメントを前記第1の磁性層29の単位面積当たりの磁気モーメントよりも大きくすると前記スピンドロップ磁界を大きくできるので、印加磁場のマージンを広くとることができ、製造工程を容易化できて好ましい。

【0295】

また熱処理温度を、前記第2の反強磁性層23のブロッキング温度よりも低くする。これによって、前記第2の反強磁性層23と第1の反強磁性層30と共に、上記したPtMn合金やPtMnX合金等で形成しても、前記第2の反強磁性層23の交換異方性磁界の方向をトラック幅方向（図示X方向）に向けたまま、前記第1の反強磁性層30の交換異方性磁界をハイト方向（図示Y方向）に向けることができる。なお前記第1の反強磁性層30に、前記第2の反強磁性層23よりもブロッキング温度の低いIrMn合金などを使用してもよい。

【0296】

上記の第2の磁場中アニールによって、前記第1の反強磁性層30は適切に規則化変態し、前記第1の反強磁性層30と第1の磁性層29の両側端部29a間に適切な大きさの交換結合磁界が発生し、これによって前記第1の磁性層29の両側端部29aの磁化は、トラック幅方向と直交する方向（図示Y方向）に固定される。

【0297】

また前記第1の磁性層29と第2の磁性層27間にはRKKY相互作用による反平行結合磁界が生じるため、前記第2の磁性層27は前記第1の磁性層29とは反平行状態で磁化固定される。また前記第1の磁性層29と第2の磁性層27

の中央部29b、27bの磁化は、前記RKKY相互作用による反平行結合磁界と各磁性層内部の交換相互作用により媒介されたバイアス磁界によって反平行状態を保って固定される。上記した工程を施すことで図1に示す磁気検出素子が完成する。

【0298】

図33ないし図35に示す工程は、図4に示す磁気検出素子の製造方法を示す一工程図である。なお各図は製造工程中の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

【0299】

図33に示す工程では、下部シールド層20上に下部ギャップ層21、シード層22、フリー磁性層24、非磁性材料層25、固定磁性層26を構成する第2の磁性層27の下層部27c及び保護層82を連続して成膜する。

【0300】

前記保護層82をCuなどの非磁性材料で形成し、膜厚を3～10Å程度の薄い膜厚で形成することが好ましい。特に前記保護層82にCuを使用すると、後工程で前記第2の磁性層27の上層部27dを前記下層部27c上に形成したときに前記上層部27dと下層部27c間に若干、前記保護層82が残っても前記上層部27dと下層部27cとで一体の第2の磁性層27として機能させることができる。

【0301】

前記保護層82はその下に形成された前記下層部27cを酸化から保護するための層である。

【0302】

図33に示すように前記保護層82上にリフトオフ用のレジスト層83を形成し、前記レジスト層83に覆われていない、前記シード層22から保護層82までの各層のトラック幅方向（図示X方向）における両側端部をイオンミリングで削り取り、図33のように、前記各層の両側に下からCrなどで形成されたバイアス下地層40、CoPtCrなどで形成された永久磁石層41、Taなどで形成された保護層42、NiFeCrなどで形成されたシード層22及びCrなど

で形成された保護層 84 をこの順で積層する。前記保護層 84 を 3 Å ~ 10 Å 程度の膜厚で形成する。このスパッタ成膜時、前記レジスト層 83 の上面にもバイアス下地材料層 40 a、永久磁石材料層 41 a、保護材料層 42 a、シード材料層 22 a 及び非磁性材料層 84 a が付着する。

【0303】

次に図 34 に示す工程では前記レジスト層 83 を除去した後、前記第 1 の磁性層 27 の下層部 27c 上に形成された保護層 82 及びシード層 22 上に形成された保護層 84 を低エネルギーのイオンビームエッチングで削り取る。これにより前記下層部 27c 及びシード層 22 が露出する。

【0304】

次に図 35 に示す工程では、前記下層部 27c 及びシード層 22 上に第 2 の磁性層 27 の上層部 27d を成膜し、前記下層部 27c と上層部 27d とが一体化した第 2 の磁性層 27 を形成し、さらに前記第 2 の磁性層 27 上に非磁性中間層 28、第 1 の磁性層 29、第 1 の反強磁性層 30、ストップ層 31、保護層 32、電極層 33 及び保護層 34 を成膜する。次に図 31 及び図 32 と同様の工程を施すと、図 4 に示す磁気検出素子が完成する。なお図 4 に示す磁気検出素子には反強磁性層は図 1 と異なって 1 層しかないので、前記第 1 の反強磁性層 30 に対して磁場中アニールを施すときの印加磁場及びアニール温度は図 32 工程で説明した第 2 の磁場中アニールのように厳しい制限はなく、このため第 2 の磁性層 27 の単位面積当たりの磁気モーメントと第 1 の磁性層 29 の単位面積当たりの磁気モーメントはどちらが大きくても製造工程の適正化及び容易性に影響を及ぼさず、また前記永久磁石層 41 の着磁はスライダー加工後またはヘッド (HGA) 組立後に行えばよい。

【0305】

上記は図 4 の磁気検出素子の製造方法であったが、図 3、図 5 ないし図 8 に示す各磁気検出素子も図 33 ないし図 35 に示す工程を利用して製造することができる。

【0306】

図 36 ないし図 39 は図 10 に示す磁気検出素子の製造方法を示す一工程図で

ある。各図は製造工程中の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

【0307】

図36に示す工程では、下部シールド層20上に下部ギャップ層21、シード層22及びCrやRuなどで形成された非磁性層85を成膜した後、前記非磁性層85の上にリフトオフ用のレジスト層87を形成する。

【0308】

次に前記レジスト層87に覆われていない前記非磁性層85、シード層22、下部ギャップ層21及び下部シールド層20の一部をイオンミリングで削りこみ、前記下部シールド層20のトラック幅方向（図示X方向）における両側端部に凹み部20bを形成する。そしてこの凹み部20b内に下から下部ギャップ層21、シード層22、第1の反強磁性層30及びRuなどで形成された非磁性層86を成膜する。このとき前記レジスト層87の上面にも前記ギャップ材料層21a、シード材料層22a、反強磁性材料層30及び非磁性材料層86aが付着する。

【0309】

次に図37に示す工程では前記レジスト層87を除去した後、低エネルギーのイオンビームエッチングで前記非磁性層85、86を除去する。これによって前記下部シールド層20の中央部上からシード層22の表面及び前記下部シールド層20の両側端部上から第1の反強磁性層30の表面が露出する。

【0310】

次に図38に示す工程では、前工程で露出した前記第1の反強磁性層30上及びシード層22上に薄い膜厚、具体的には50Åよりも薄い反強磁性層と同じ組成の非磁性金属層30fを成膜した後、その上に第1の磁性層29、非磁性中間層28、第2の磁性層27、非磁性材料層25、フリー磁性層24及び保護層46を成膜する。

【0311】

前記第1の反強磁性層30及びシード層22上に50Åよりも薄い反強磁性層と同じ組成の非磁性金属層30fを成膜し連続して第1の磁性層29を成膜する

と、磁場中アニールによって素子の両側端部に設けられた膜厚の厚い第1の反強磁性層30と一体化した材料層30fは不規則格子から少なくとも一部が規則格子に変態して、前記第1の磁性層29の両側端部との間で交換結合磁界が生じ、前記素子の中央部では前記非磁性金属層30fの膜厚が非常に薄いので、前記非磁性金属層30fは不規則格子から規則格子に変態できず、前記第1の磁性層29の中央部との間では前記交換結合磁界は生じないようになっている。

【0312】

図39工程では前記保護層46の上にリフトオフ用のレジスト層88を形成し、前記レジスト層88に覆われていない前記保護層46、フリー磁性層24及び非磁性材料層25の一部をイオンミリングで除去する。このように前記非磁性材料層25の両側端部25dが一部でも残されるようにしておくことで、前記イオンミリングから前記固定磁性層26を保護することができる。

【0313】

次に前記非磁性材料層25上にCrなどで形成されたバイアス下地層40を形成し、さらに前記バイアス下地層40上に永久磁石層41を形成し、前記永久磁石層41上に拡散防止層45を形成し、さらに前記拡散防止層45の上に電極層33を成膜する。なお前記非磁性材料層25とバイアス下地層40との間にTaなどで形成された下地層を敷く方が、前記バイアス下地層の結晶配向を適正化でき、前記永久磁石層41の特性（保磁力Hcや角形比）を向上させることができて好ましい。

【0314】

また上記の成膜によって、前記レジスト層88の上面にもバイアス下地材料層40a、永久磁石材料層41a、拡散防止材料層45a及び電極材料層33aが付着する。その後、前記レジスト層88を除去し、前記永久磁石層41のトラック幅方向（図示X方向）への着磁を行う。以上の工程を施すことで図10に示す磁気検出素子を製造することができる。

【0315】

なお上記した製造方法では、図10と異なり、若干、前記下部シールド層20の突出部20a上に一部、非磁性金属層30f（この非磁性金属層は図19に示

す非磁性金属層100と同じものである)が残ってしまうが、前記非磁性金属層30fが残らないようにする製造方法もあるのでそれについては後述する。

【0316】

図40ないし図43に示す工程は図11に示す磁気検出素子の製造方法を示す一工程図である。各図は製造工程中の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

【0317】

図40に示す工程ではまず図36及び図37と同じ工程を施して第1の反強磁性層30までを成膜した後、前記第1の反強磁性層30上に、膜厚が50Åよりも薄い反強磁性層と同じ組成の非磁性金属層30f、人工フェリ構造の固定磁性層26、非磁性材料層25、フリー磁性層24、非磁性中間層52、強磁性層48、反強磁性層と同じ組成の非磁性金属層23c(50Åよりも薄い)及び非磁性層92を連続して成膜し、磁場中アニールで前記第1の反強磁性層30と第1の磁性層29の両側端部29a間に交換結合磁界を生じさせた後、前記非磁性層92を低エネルギーのイオンミリングで除去し、さらに前記第2の反強磁性層23の下層部23c上に前記第2の反強磁性層23の上層部を積層し、前記下層部23cと上層部とで一体化された第2の反強磁性層23を形成した後、前記第2の反強磁性層23の上にストップ層53及び保護層49を成膜する。

【0318】

図41に示す工程では前記保護層49上にトラック幅方向に所定の間隔93aが空けられたマスク層93を形成し、前記マスク層93間に空けられた間隔93a下に露出する保護層49をRIEで除去してストップ層53が露出したら、今後はイオンミリングで前記ストップ層53及び第2の反強磁性層23を削り込み、この工程で前記マスク層93も除去される。

【0319】

なお前記間隔93a内には若干、前記第2の反強磁性層23と同じ組成の非磁性金属層23dが残されているが、50Åよりも薄い膜厚なら残されていてよい。

【0320】

次に図42の工程では、前記保護層49上から第2の反強磁性層23の中央部23d上にかけてCrなどで形成されたストップ層50を形成し、さらに前記ストップ層50上にTaなどの保護層51を形成し、前記保護層51の上にAuなどで形成された電極層33を形成し、前記電極層33の上にTaなどで形成された保護層34を形成する。

【0321】

次に図43に示す工程では、前記保護層34上にトラック幅方向（図示X方向）に所定の間隔Cが開けられたマスク層111を形成する。このマスク層111間に開けられた間隔Cのトラック幅方向への中心が素子のトラック幅方向への中心と一致するように、前記マスク層111をアライメント形成する。またこの工程では前記マスク層111を反応性イオンエッチング（RIE）で削られない、あるいは削られ難い材質で形成する。前記マスク層111をレジストによるリフトオフ等を利用してメタル層で形成しており、例えば前記マスク層111をCr層で形成している。前記マスク層111をメタル層で形成する場合、前記マスク層111を100Å～500Å程度の膜厚で形成することが好ましい。

【0322】

前記マスク層111のトラック幅方向（図示X方向）に開けられた間隔Cは、前記第2の反強磁性23の内側端面23bの下面間のトラック幅方向における間隔よりも狭くすることが好ましい。

【0323】

次に前記マスク層111を形成した後、前記マスク層111に覆われていない保護層34及び電極層33をエッチングで削り取っていく。このエッチングには反応性イオンエッチング（RIE）を使用することが好ましい。エッチングガスとして、CF₄やC₃F₈あるいはArとCF₄の混合ガス、またはC₃F₈とArとの混合ガスを使用する。

【0324】

前記保護層34、電極層33及び保護層51を削り取ってストップ層50の表面が現れると、ここで一旦エッチング工程を終了し、次に前記マスク層111間に現れた前記ストップ層50をイオンミリングで削り、さらにその下に残された

第2反強磁性層23を削り、またこの図43工程では、その下に現われた強磁性層48をすべて除去してイオンミリングを止めている。このイオンミリング時の削り込み量はSIMS分析計によって制御することが可能である。特にこのイオンミリングは低エネルギーのイオンミリングを使用できる。削り込む層の膜厚が薄いからである。このためミリング制御を向上させることができ、強磁性層48をすべて除去した瞬間にミリングを止めることも精度良く行うことができる。

【0325】

なお上記した製造方法では、図11と異なり、若干、前記下部シールド層20の突出部20a上に一部、反強磁性層と同じ組成の非磁性金属層30fが残ってしまうが、前記非磁性金属層30fが残らないようにする製造方法を以下で説明する。

【0326】

図44及び図45に示す工程は、図36及び図37に示す工程と異なる工程で前記第1の反強磁性層30及び固定磁性層26を形成するための一工程図であり、各図は製造工程中の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

【0327】

図44の工程では、下部シールド層20、下部ギャップ層21、シード層22及び非磁性層85を形成し、前記非磁性層85上に図44に示すリフトオフ用のレジスト層89を形成した後、前記レジスト層89に覆われていない前記非磁性層85、シード層22、下部ギャップ層21及び前記下部シールド層20の一部をエッティングで除去し、前記レジスト層89よりもトラック幅方向（図示X方向）に延出する前記下部シールド層20上に下部ギャップ層21、シード層22、第1の反強磁性層30、第1の磁性層29及び非磁性層90を成膜する。前記非磁性層90をRuなどで形成し、前記レジスト層89を除去した後、前記非磁性層85及び前記非磁性層90の一部を除去する。

【0328】

図45に示すように前記第1の磁性層29上には前記非磁性層90の一部が残され、素子中央のシード層22上から前記非磁性層90上にかけて磁性中間層1

02、非磁性中間層28、第2の磁性層27を形成し、前記第1の磁性層29、磁性中間層102、第2の磁性層27、非磁性中間層28、90の5層で固定磁性層26を形成する。その後の工程は図38以降と同じであり、前記固定磁性層26上に連続して非磁性材料層25、フリー磁性層24・・・を成膜していく。

【0329】

図46及び図47は、図44及び図45に示す工程とは異なる工程で前記第1の反強磁性層30及び固定磁性層26を形成するための一工程図であり、各図は製造工程中の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

【0330】

図46に示す工程では、下部シールド層20、下部ギャップ層21、シード層22、固定磁性層26を構成する第1の磁性層29の下層部29c及び非磁性層85を成膜し、前記非磁性層85の上に図46に示すリフトオフ用のレジスト層89を形成する。前記レジスト層89に覆われていない前記非磁性層85、前記第1の磁性層29の下層部29c、シード層22、下部ギャップ層21及び前記下部シールド層20の一部を除去し、一部残された前記下部シールド層20上に下部ギャップ層21、シード層22、第1の反強磁性層30、第1の磁性層29の下層部29c及び非磁性層91を成膜する。

【0331】

次に前記レジスト層89を除去し、前記非磁性層85、91をイオンミリングで除去した後、図47に示すように、前記非磁性層85、91を除去したことで露出した第1の磁性層29の下層部29c上に前記第1の磁性層29の上層部29dを成膜し、さらに前記上層部29d上に非磁性中間層28及び第2の磁性層27を成膜する。

【0332】

図47に示す点線部は前記下層部29cと上層部29dとの境界線であり、この境界線に前記非磁性層85、91の一部が残されていてもよいが、前記下層部29cと上層部29dとは強磁性結合によって一体の第1の磁性層29となり、前記第1の磁性層29、非磁性中間層28及び第2の磁性層27の3層で固定磁性層26が構成される。その後の工程は図38以降と同じであり、前記固定磁性

層 26 上に連続して非磁性材料層 25、フリー磁性層 24 . . . を成膜していく。
。

【0333】

図44ないし図47に示す工程を用いると下部シールド層 20 の突出部 20a 上に第1の反強磁性層 30 と同じ組成の非磁性金属層が残されることのない形態を製造することができる。

【0334】

図48及び図49に示す工程図は、図12に示す磁気検出素子の製造工程を示す一工程図であり、各図は製造工程中の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

【0335】

図48に示す工程では、下部シールド層 20、下部ギャップ層 21、シード層 22、第1の反強磁性層 30 及び Ru などで形成された非磁性層 101 を成膜し、さらに前記非磁性層 101 の上にトラック幅方向（図示X方向）に間隔Cが空けられた例えばレジストなどのマスク層 94 を形成し、前記マスク層 94 に覆われていない前記非磁性層 101 及び第1の反強磁性層 30 をイオンミリングあるいはRIE などで除去する。そうすると前記第1の反強磁性層 30 にもトラック幅方向（図示X方向）に間隔Cが設けられる。

【0336】

次に図48に示すように前記マスク層 94 上から前記間隔C内にかけて Ru などで形成された非磁性層 95 を成膜した後、前記マスク層 94 を剥離し、さらに非磁性層 95、101 を低エネルギーのイオンビームエッティングで除去する。

【0337】

次に図49工程に示すように薄い膜厚、具体的には 50 Å よりも薄い膜厚の反強磁性層と同じ組成の非磁性金属層 30e を前記第1の反強磁性層 30 上から前記間隔C内にかけて成膜した後、図40工程以降と同様に前記反強磁性層 30 上に連続して人工フェリ構造の固定磁性層 26、非磁性材料層 25、フリー磁性層 . . . を成膜していく。

【0338】

なお図15ないし図17に示す磁気検出素子も上記した図28ないし図49工程のいくつかを組み合わせることで製造することが可能である。

【0339】

また図18ないし図20に示す磁気検出素子も上記した図28ないし図49工程のいくつかを組み合わせることで製造できるが、第1の反強磁性層30と固定磁性層26を構成する第1の磁性層29との好ましい実施形態については、既に図18ないし図20で説明したので、そちらを参照されたい。

【0340】

また図1ないし図49では磁気検出素子で再生を行うMRヘッド部のみの説明であったが、上部シールド層上に書き込み用のインダクティブヘッド部が積層されている薄膜磁気ヘッドであっても本発明を適用できる。

【0341】

また本発明における磁気検出素子はハードディスク装置に内蔵される磁気ヘッドに装備されるほか磁気センサなどにも使用可能である。

【0342】

【実施例】

図50（実施例）及び図53（比較例）に示す構造の磁気検出素子を用いて一方向性交換バイアス磁界 $H_{e x}$ *及び再生出力（規格化出力）を求めた。

【0343】

図50（実施例）は、磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図の模式図であり、膜構成は、下からシード層：(Ni0.8Fe0.2)60 at%Cr40 at% (60 Å)／フリー磁性層：Ni80 at%Fe20 at% (35 Å)／Co90 at%Fe10 at% (10 Å)／非磁性材料層：Cu (21 Å)／固定磁性層：[第2の磁性層：Co90 at%Fe10 at% (X Å)／非磁性中間層：Ru (9 Å)／第1の磁性層：Co90 at%Fe10 at% (Y Å)]／第1の反強磁性層：Pt50 at%Mn50 at% (200 Å)の順である。なお括弧書きは膜厚を示している。図50に示すようにフリー磁性層はトラック幅方向に磁化が向けられているが、前記フリー磁性層の磁化を制御するための永久磁石層や第2の反強磁性層は設けられていない。また図50に

示すように前記第1の磁性層と第2の磁性層はハイト方向（図示Y方向）に平行な方向で且つ互いに磁化が反平行状態になっている。

【0344】

また図50に示すように第1の反強磁性層間には間隔が空けられ、この間隔内からは固定磁性層を構成する第1の磁性層が露出している。そして前記間隔のトラック幅方向（図示X方向）における幅寸法がトラック幅R Twであり、前記トラック幅R Twは物理的なトラック幅（Physical Read Track Width）である。

【0345】

上記のように第2の磁性層の膜厚はX Åで、第1の磁性層の膜厚はY Åであり、これら各磁性層の膜厚を変化させて、トラック幅R Twと一方向性交換バイアス磁界及び前記トラック幅R Twと規格化出力との関係について求めた。なお一方向性交換バイアス磁界H ex*とは、抵抗変化率（ $\Delta R / R$ ）の最大値の半分の値になる時の外部磁界の大きさを前記一方向性交換バイアス磁界（H ex*）と定める。一方向交換バイアス磁界には、前記固定磁性層と反強磁性層間で発生する交換結合磁界のほか、前記固定磁性層は人工フェリ構造であるため、前記固定磁性層を構成するCoFe間で発生するRKKY交換相互作用における結合磁界などを含む磁界の大きさである。この一方向性交換バイアス磁界が大きいほど前記固定磁性層を所定の方向に適切にピン止めすることが可能になる。

【0346】

図51に示すように、トラック幅R Twが広がるにつれて一方向性交換バイアス磁界は低下する。しかし前記トラック幅R Twが約0.22 μm程度でも100 kA/m程度の高い一方向性交換バイアス磁界を生じている。前記固定磁性層の磁化固定には最低で80 kA/m程度の一方向性交換バイアス磁界が必要であると考えられることからすると、前記トラック幅R Twの設定にある程度の自由度があることがわかった。

【0347】

図52は、前記トラック幅R Twとトラック幅で規格化された再生出力（ $\Delta V / R Tw$ ）との関係を示すグラフである。規格化出力は、ハイト方向に±400 Oe（±31. kA/m）の一様磁界を印加したときの電圧変化量 ΔV をトラ

ック幅 R_{Tw} で割ったものである。

【0348】

図 5 2 に示すように、トラック幅 R_{Tw} が大きくなるにつれて、規格化出力は若干低下する傾向を見せるが、規格化出力は前記トラック幅 R_{Tw} が $0.2 \mu m$ を超えて $12 mV/\mu m$ 以上を保っていることがわかる。

【0349】

図 5 3 (比較例) は、磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図の模式図であり、膜構成は、図 5 0 の磁気検出素子の膜構成と同じである。図 5 3 に示すようにフリー磁性層はトラック幅方向に磁化が向けられているが、前記フリー磁性層の磁化を制御するための永久磁石層や第 2 の反強磁性層は設けられていない。また図 5 3 に示すように前記第 1 の磁性層と第 2 の磁性層はハイト方向 (図示 Y 方向) に平行な方向で且つ互いに磁化が反平行状態になっている。

【0350】

なお図 5 0 の場合と同様に第 2 の磁性層の膜厚は $X \text{ \AA}$ で、第 1 の磁性層の膜厚は $Y \text{ \AA}$ であり、これら各磁性層の膜厚を変化させて、トラック幅 R_{Tw} と一方向性交換バイアス磁界及び前記トラック幅 R_{Tw} と規格化出力との関係について求めた。なお図 5 3 に示す磁気検出素子は図 5 0 のように第 1 の反強磁性層にはトラック幅方向 (図示 X 方向) に間隔が空けられておらず、前記第 1 の反強磁性層は前記第 1 の磁性層上の全面に設けられている。前記第 1 の反強磁性層の上に設けられた電極層に図 5 3 に示すようにトラック幅方向に間隔が空けられ、前記間隔のトラック幅方向 (図示 X 方向) における幅寸法がトラック幅 R_{Tw} であり、前記トラック幅 R_{Tw} は物理的なトラック幅 (Physical Read Track Width) である。

【0351】

図 5 4 に示すように、トラック幅 R_{Tw} が広がっても一方向性交換バイアス磁界の大きさにはさほど大きな変化が見られない。同様に図 5 5 に示すように、規格化出力の大きさもトラック幅 R_{Tw} が広がっても変化しない。

【0352】

本発明の実施形態の磁気検出素子は図 5 0 のように、第 1 の反強磁性層にトラ

ック幅方向に所定の間隔を空けて成るものであるが、まず図51と図54に示す一方向性交換バイアス磁界 H_{ex*} を比べて見ると、実施例の方が比較例に比べて前記一方向性交換バイアス磁界 H_{ex*} は小さくなる。これは実施例の場合、素子の中央部の前記第1の磁性層上に第1の反強磁性層が設けられていないため、素子の中央部で交換結合磁界が生じないためであると考えられるが、実施例でもトラック幅 RT_w の大きさを適切に制御すれば前記固定磁性層を適切に磁化固定できるだけの一方向性交換バイアス磁界 H_{ex*} を得ることができることがわかった。

【0353】

上記したように前記一方向性交換バイアス磁界 H_{ex*} は最低、 80 kA/m 程度以上あれば足りると考えられるので図51に示すように前記トラック幅 RT_w を $0.2\mu\text{m}$ 以下にすれば、前記一方向性交換バイアス磁界を 80 kA/m 程度以上得ることが可能であるとわかった。

【0354】

次に図52と図55に示す規格化出力を比べて見ると、実施例の方が比較例に比べて前記規格化出力は大きくなる。これは実施例のように素子の中央部の第1の磁性層上に第1の反強磁性層を設けないことで、電極層から流れるセンス電流の分流ロスが減るためであると考えられる。

【0355】

つまり、実施例のように素子の中央部の第1の磁性層上に第1の反強磁性層を設けない構成とすれば、固定磁性層の第1の磁性層と第2の磁性層を磁化固定できるだけの十分な一方向性交換バイアス磁界を得ることができると共に、従来に比べて再生出力を大きくすることができることがわかった。

【0356】

また図51及び図52に示すように第1の磁性層と第2の磁性層の膜厚は、互いに薄く且つ膜厚差が小さい方が、一方向性交換バイアス磁界及び規格化出力を大きくできることができることがわかった。

【0357】

次に図50に示すフリー磁性層下に第2の反強磁性層を設けた磁気検出素子を

製造した。なおトラック幅R Twを0.2 μ m程度とした。

【0358】

そしてこの磁気検出素子を用い、第2の磁性層の単位面積当たりの磁気モーメントから第1の磁性層との単位面積当たりの磁気モーメントを引いた単位面積当たりの合成磁気モーメント（Net Mst）とトラック幅方向の磁界に対する固定磁性層の中央部の磁化回転のしやすさ（感度）との関係、および第2の磁性層の膜厚から第1の磁性層の膜厚を引いた膜厚差とトラック幅方向の磁界に対する固定磁性層の中央部の磁化回転のしやすさ（感度）との関係について調べた。

【0359】

実験では、第1の磁性層及び第2の磁性層の膜厚を変化させ、前記第1の磁性層及び第2の磁性層の単位面積当たりの磁気モーメント（飽和磁化Ms × 膜厚t）を変化させた。そして外部磁界が±4000Oe（ここで+4000Oeの外部磁界とは例えばトラック幅方向方向への外部磁界の方向及び強さを指し、-4000Oeの外部磁界とはトラック幅方向と逆方向への外部磁界の方向及び強さを指す）時のときの電圧差（ ΔV ）に対する、外部磁界が±100Oe（ここで+100Oeの外部磁界とは例えばトラック幅方向への外部磁界の方向及び強さを指し、-100Oeの外部磁界とはトラック幅方向と逆方向への外部磁界の方向及び強さを指す）時のときの電圧差（ ΔV ）の比率（以下、 ΔV （±100Oe）/ ΔV （±4000Oe）とする）を求めた。 ΔV （±100Oe）/ ΔV （±4000Oe）は、弱い磁場で第1の磁性層及び第2の磁性層の磁化がどれくらい回転するかの指標、すなわちトラック幅方向の磁界に対する固定磁性層の感度を示す。なお4000Oeは、約 31.6×10^4 (A/m) である。

【0360】

図56が、単位面積当たりの合成磁気モーメントと感度{ ΔV （±100Oe）/ ΔV （±4000Oe）}（以下、単に感度という）との関係を示すグラフである。図56に示すように単位面積当たりの合成磁気モーメントが小さくなるほど、徐々に前記感度が低下していくことがわかる。図56では、単位面積当たりの合成磁気モーメントが1 (T · nm) 付近で、感度が0になるものと考えられる。また前記単位面積当たりの合成磁気モーメントを1.5 (T · nm) 以下

にすると前記感度を0.2以下に抑えることができるとわかった。

【0361】

この実験では、単位面積当たりの合成磁気モーメントをある範囲内で小さくすれば、効果的に感度を低下させることができるとわかった。

【0362】

図57は、第2の磁性層の膜厚から第1の磁性層の膜厚を引いた膜厚差と感度 $\{ \Delta V (\pm 1000 \text{ Oe}) / \Delta V (\pm 4000 \text{ Oe}) \}$ (以下、単に感度という) との関係を示すグラフであるが、このグラフでも図57と同様の傾向が見られ、前記膜厚差が小さくなるほど、徐々に前記感度が低下していくことがわかる。図57では、膜厚差が5 Å付近で、前記感度が0になるものと考えられる。また前記膜厚差を10 Å以下にすれば前記感度を0.2以下に抑えることができるとわかった。

【0363】

次に第2の磁性層を下から、Co90at%Fe10at% (10 Å) / Ni80at%Fe20at% (30 Å) / Co90at%Fe10at% (6 Å) の3層構造で形成した。括弧書きは膜厚を示している。

【0364】

また非磁性中間層には膜厚が9 ÅのRuを用い、第1の磁性層にはCo90at%Fe10at%を用い、前記強磁性層の膜厚を変化させることで、単位面積当たりの合成磁気モーメントの大きさ、および第1の磁性層と第2の磁性層との膜厚差を変化させた。

【0365】

図58は、第2の磁性層の単位面積当たりの磁気モーメントから第1の磁性層の単位面積当たりの磁気モーメントを引いて求めた単位面積当たりの合成磁気モーメント (Net Mst) と感度 $\{ \Delta V (\pm 100 \text{ Oe}) / \Delta V (\pm 400 \text{ Oe}) \}$ (以下、単に感度という) との関係を示すグラフである。

【0366】

図58を見てわかるように前記感度は図56と同様に前記単位面積当たりの合成磁気モーメントが小さくなしていくほど低下していくことがわかった。また図

58では、2.6 (T・nm) の単位面積当たりの合成磁気モーメントを境として前記感度が急激に変化している。すなわち2.6 (T・nm) の単位面積当たりの合成磁気モーメントを変曲点として前記感度が大きく変化している。

【0367】

図58に示すように前記単位面積当たりの合成磁気モーメントが2.6 (T・nm) 以下になると前記感度は0.2以下になることがわかった。

【0368】

図59は、第2の磁性層の膜厚から第1の磁性層の膜厚を引いた膜厚差と感度 { ΔV (± 1000 Oe) / ΔV (± 4000 Oe)} (以下、単に感度という) との関係を示すグラフである。

【0369】

図59に示すように前記膜厚差が小さくなるほど図57と同様に前記感度は低下していくことがわかった。

【0370】

図59に示すように30 Åの膜厚差を境として前記感度は急激に変化していることがわかった。すなわち30 Åの膜厚差を変曲点として前記感度が大きく変化することがわかった。図59に示すように、前記膜厚差が30 Å以下になると前記感度は0.2以下になることがわかった。

【0371】

上記した図56ないし図59の実験では、フリー磁性層はその下の全面に形成された第2の反強磁性層との間で発生する交換結合磁界によって磁化が固定された状態にあるから、実験での再生感度は前記固定磁性層の素子中央部の磁化が変動することに起因するところが大きく、よってできる限り再生感度が小さくなる単位面積当たりの合成磁気モーメントや膜厚差を選択することが、前記固定磁性層の磁化固定を適切に行うことができて好ましいことになる。

【0372】

そこで図56ないし図59に示す実験結果を用いて、本発明において好ましい単位面積当たりの磁気モーメントの大きさ、および膜厚差を求めるとした。

【0373】

まず素子中央部での固定磁性層の感度の好ましい大きさについて説明する。図 58 を見てわかるように、2.6 (T・nm) の単位面積当たりの磁気モーメントを境として急激に感度変化が見られ、前記単位面積当たりの合成磁気モーメントを 2.6 (T・nm) 以下にすると感度を 0.2 以下に抑えることができるとわかった。

【0374】

そして図 58 に示すグラフから、前記単位面積当たりの合成磁気モーメントを -6 (T・nm) 以上で 2.6 (T・nm) 以下の範囲内に設定すると前記感度を絶対値で 0.2 以下に抑えることができるとわかった。

【0375】

またスピンフロップ磁界は前記合成磁気モーメントをプラス側の領域にした方が大きくなることがわかつており、スピンフロップ磁界が大きい方が、前記固定磁性層の磁化固定を適正化でき且つ製造工程を容易化できて好ましい。特に第1の反強磁性層がフリー磁性層よりも上側にあり、且つ前記フリー磁性層の磁化制御層として第2の反強磁性層を用いた場合、まず前記フリー磁性層と第2の反強磁性層間に交換結合磁界を生じさせる磁場中アニールを施すため、第1の反強磁性層と固定磁性層を構成する第1の磁性層間に交換結合磁界を生じさせるために施す磁場中アニール時の印加磁場の大きさは、前記フリー磁性層と第2の反強磁性層間に生じる交換結合磁界よりも小さくなければならないという制約がある。このため、第1の反強磁性層がフリー磁性層よりも上側にあり、且つ前記フリー磁性層の磁化制御層として第2の反強磁性層を用いた場合には、前記合成磁気モーメントをプラス側の値にした方が、スピンフロップ磁界を大きくできるため前記印加磁場のマージンを広くでき製造工程での容易性を向上させることができるので好ましい。

【0376】

また前記合成磁気モーメントが 0 (T・nm) であると、第1の磁性層と第2の磁性層の単位面積当たりの磁気モーメントが等しくなるため、磁場中アニール時に支配的な層（すなわち磁場をかけたときのその磁場方向に向く層）が第1の磁性層及び第2の磁性層のどちらでもなくなり、前記第1の磁性層と第2の磁性

層を反平行状態にしつつハイト方向に平行な方向に磁化固定しにくい。従って前記合成磁気モーメントは0 (T・nm) でないことが必要である。

【0377】

以上の結果、本発明での好ましい合成磁気モーメントは-6 (T・nm) 以上で2.6 (T・nm) 以下（ただし0 T・nmは除く）であり、第1の反強磁性層がフリー磁性層よりも上側にあり、且つ前記フリー磁性層の磁化制御層として第2の反強磁性層を用いた場合には、好ましい前記合成磁気モーメントは0 (T・nm) よりも大きく2.6 (T・nm) 以下の範囲内とした。

【0378】

また図3ないし図8のように第2の反強磁性層を用いず、磁場中アニールが一回で済む構造、あるいは図10ないし図12のように固定磁性層が下側に位置し、第1の磁場中アニールで固定磁性層の磁化を固定する場合は、アニールを強磁場（第1及び第2磁性層の磁化が同じ方向に平行となるような磁場）で行えるため、合成磁気モーメントが0 (T・nm) より小さくてもよい。

【0379】

ただし図56に示す実験では、第1の磁性層及び第2の磁性層がともにCoFe合金で形成された磁気検出素子を用いて行ったものであり、かかる場合、前記合成磁気モーメントを1.5 (T・nm) 以下にすると前記感度を0.2以下に抑えることができる。よって第1の磁性層及び第2の磁性層をともにCoFe合金で形成する場合、より好ましい前記合成磁気モーメントを0 (T・nm) より大きく1.5 (T・nm) 以下とした。

【0380】

次に膜厚差の好ましい範囲について説明する。感度を絶対値で0.2以下に抑えるには図59に示すように前記膜厚差を-30 Å以上で30 Å以下にすればよいとわかった。しかしながら前記膜厚差がマイナス側の値であると、前記第1の反強磁性層がフリー磁性層よりも上側にあり、且つ前記フリー磁性層の磁化制御層として第2の反強磁性層を用いた場合に、上記と同様の不具合が生じ易いので、かかる場合、前記膜厚差はプラス側の値であることが好ましい。

【0381】

なお図59に示す実験では第2の磁性層にCoFe/NiFe/CoFeの3層構造を用い、第1の磁性層にはCoFeの単層構造を用いているので、第1の磁性層と第2の磁性層の飽和磁化Msは異なる値であり、よって前記第1の磁性層と第2の磁性層が共に同じ膜厚値であっても、すなわち膜厚差が0 Åであっても、単位面積当たりの合成磁気モーメントは0 (T・nm) にならない。

【0382】

よって本発明における好ましい膜厚差は-30 Å以上で30 Å以下であり、前記第1の反強磁性層がフリー磁性層よりも上側にあり、且つ前記フリー磁性層の磁化制御層として第2の反強磁性層を用いた場合、好ましい膜厚差は0 Å以上で30 Å以下である。

【0383】

ただし図57に示す実験では、第1の磁性層及び第2の磁性層がともにCoFe合金で形成された磁気検出素子を用いて行ったものであり、かかる場合、前記膜厚差を10 Å以下にすると前記感度を0.2以下に抑えることができる。またかかる場合、前記膜厚差が0 Åであると合成磁気モーメントは0 (T・nm) になってしまふため、より好ましい膜厚差を0 Åよりも大きく10 Å以下と設定した。

【0384】

上記は、図50に示す試料に示すようにトラック幅方向における第1の反強磁性層間に間隔が設けられるものの、この間隔内に前記第1の反強磁性層と同じ組成の非磁性金属層が設けられていない場合での実験であった。

【0385】

そこで今度は、前記非磁性金属層と固定磁性層を構成する第1の磁性層とに着目して以下の実験を試みた。

【0386】

まずPtMn層（非磁性金属層）にCoFe層（第1の磁性層）を積層し、PtMn層の組成比を変化させたときのCoFeの磁歪の変化を調べた。

【0387】

以下の多層膜を成膜し、290°Cで4時間アニールした。なお以下の多層膜で

は、第1の磁性層の磁歪のみを測るため第2の磁性層やフリー磁性層は省略してある。

【0388】

シリコン基板／アルミナ（1000Å）／（Ni_{0.8}Fe_{0.2}）₆₀Cr₄₀（52Å）／Pt_xMn_{100-x}（30Å）／Co₉₀Fe₁₀（20Å）／Ru（9Å）

磁歪の測定には光柾子法を用いた。レーザ光線を上記多層膜の表面に当てた状態で、前記多層膜の膜面平行方向に磁界を印加する。磁歪による多層膜の曲がりをレーザ光線の反射角度の変化として読み取り、多層膜の磁歪定数を検出する。

【0389】

結果を図60に示す。図60に示されるように、PtMn層のPt濃度が高くなる程、多層膜の磁歪定数が大きくなる。特に、Pt濃度が51原子%以上になると、磁歪定数が急激に増加し、Pt濃度が55原子%以上になると磁歪定数の増加率が緩やかになる。

【0390】

これは、PtMn層のPt濃度が高くなる程、PtMnの結晶格子定数が大きくなり、PtMn層とCoFe層の界面付近の歪みが大きくなるためであると考えられる。

【0391】

次に、PtMn層にCoFe層を積層したときと、PtMn層にCo層を積層したときのCo及びCoFeの磁歪定数を比較した。

【0392】

以下の多層膜を成膜し、290℃で4時間アニールした。

シリコン基板／アルミナ（1000Å）／（Ni_{0.8}Fe_{0.2}）₆₀Cr₄₀（52Å）／Pt₅₀Mn₅₀（0Åまたは30Å）／P_in₁（XÅ）／Ru（9Å）／Cu（85Å）／Ta（30Å）（ただし、P_in₁はCo₉₀Fe₁₀またはCo）

なお磁歪の測定には光柾子法を用いた。

【0393】

結果を図61に示す。第1の磁性層（以下、P_in₁という）がCoであって

も、CoFeであっても、PtMn層があるほうが、PtMn層がないものに比べて磁歪定数が大きくなっている。また、Pin1がCoであるほうが、CoFeであるものよりも磁歪定数が大きくなっている。

【0394】

また、Pin1をCoとし、Pin1の下層にPtMn層(30Å)を設けたとき、Pin1の膜厚を大きくしていくと、Pin1の膜厚が16Åから20Åの範囲で磁歪定数の増加が見られるが、Pin1の膜厚が20Åより大きくなると磁歪定数が減少している。

【0395】

これは、Pin1が厚くなりすぎると、Pin1とPtMn層の界面付近に生じた歪みによる磁歪定数増大の効果が小さくなることを示している。

【0396】

次に、Pin1の上にPtMn層を形成して、Co及びCoFeの磁歪定数を比較した。

【0397】

以下の多層膜を成膜し、290℃で4時間アニールした。

シリコン基板／アルミナ(1000Å)／(Ni0.8Fe0.2)60Cr40(52Å)／Cu(85Å)／Ru(9Å)／Pin1(XÅ)／Pt50Mn50(0Åまたは30Å)／Ta(30Å)（ただし、Pin1はCo90Fe10またはCo）

磁歪の測定には光柾子法を用いた。

【0398】

結果を図62に示す。Pin1の上にPtMn層を形成したときも、Pin1の下にPtMn層を形成したときの結果と同様の傾向をしめした。

【0399】

すなわち、Pin1がCoであっても、CoFeであっても、PtMn層が上層にあるほうが、PtMn層がないものに比べて磁歪定数が大きくなっている。また、Pin1がCoであるほうが、CoFeであるものよりも磁歪定数が大きくなっている。また、Pin1をCoとし、Pin1の上層にPtMn層(30

Å) を設けたとき、Pin1の膜厚を大きくしていくと、Pin1の膜厚が16 Åから19 Åの範囲で磁歪定数の増加が見られるが、Pin1の膜厚が19 Å大きくなると磁歪定数が減少している。

【0400】

次に、積層人工フェリ構造の多層膜にPnMn層を重ねて磁歪を測定した。以下の多層膜を成膜し、290°Cで4時間アニールした。なお以下の多層膜では、固定磁性層の磁歪のみを測るためフリー磁性層は省略してある。

【0401】

シリコン基板／アルミナ(1000 Å)／(Ni_{0.8}Fe_{0.2})₆₀C_{r40}(52 Å)／Pt₅₀Mn₅₀(30 Å)／Pin1(16 Å)／Ru(9 Å)／Pin2(40 Å)／Cu(85 Å)／Ta(30 Å)（ただし、Pin1、Pin2はCo₉₀Fe₁₀、Fe₅₀Co₅₀またはCo）

磁歪の測定にはベンディング法を用いた。ベンディング法とは、上記多層膜を湾曲させて一軸性の歪みを与え、逆磁歪効果による一軸異方性の変化から磁歪定数を測定する方法である。その結果を表1に示す。

【0402】

【表1】

| | | | |
|---------|-----------------------------------|-------|-----------------------------------|
| 第1の磁性層 | Co ₉₀ Fe ₁₀ | Co | Fe ₅₀ Co ₅₀ |
| 第2の磁性層 | Co ₉₀ Fe ₁₀ | Co | Co ₉₀ Fe ₁₀ |
| λs(ppm) | +13.6 | +54.4 | +29.5 |

【0403】

この実験結果から、Pin1、Pin2がCoであるほうが、CoFeであるものよりも磁歪定数が大きくなることがわかる。

【0404】

図60ないし図62、及び表1に示す実験結果から、例えば図18のように第1の反強磁性層30間に薄い膜厚(50 Å以下)で、前記第1の反強磁性層30と同じ組成の非磁性金属層100を設ければ、前記第1の磁性層29の中央部29bでの磁歪定数を大きくでき、磁気弾性効果によって、前記第1の磁性層29の中央部29bをより安定して磁化固定できることがわかった。

【0405】**【発明の効果】**

以上詳細に説明した本発明では、固定磁性層を、第1の反強磁性層に接する側の第1の磁性層と、前記第1の磁性層と膜厚方向で対向する第2の磁性層と、前記第1の磁性層と第2の磁性層間に介在する非磁性中間層とを有して構成し、前記第1の反強磁性層にはトラック幅方向に所定の間隔を空け、少なくとも前記第1の磁性層のトラック幅方向の両側端部に膜厚方向から接して設け、前記第1の反強磁性層との間で生じる交換結合磁界を、前記第1の磁性層の両側端部との間でのみ生じさせることで、固定磁性層の磁化固定を可能にできるとともに、再生出力を向上でき、狭ギャップ化を実現でき、さらに静電破壊（ＥＳＤ）に強い磁気検出素子を製造することができる。よって今後の更なる高記録密度化に適切に対応可能な磁気検出素子を提供することができる。

【図面の簡単な説明】**【図1】**

本発明の実施の形態である磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図2】

本発明の実施の形態である磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図3】

本発明の実施の形態である磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図4】

本発明の実施の形態である磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図5】

本発明の実施の形態である磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図6】

本発明の実施の形態である磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図 7】

本発明の実施の形態である磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図 8】

本発明の実施の形態である磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図 9】

本発明の実施の形態である磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図 10】

本発明の実施の形態である磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図 11】

本発明の実施の形態である磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図 12】

本発明の実施の形態である磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図 13】

固定磁性磁性層の単位面積当たりの合成磁気モーメントの向きとセンス電流磁界の向きとを一致させるための説明図であり、本発明の実施の形態である磁気検出素子の構造をY-Z平面と平行な面で切断して見た部分断面図、

【図 14】

固定磁性磁性層の単位面積当たりの合成磁気モーメントの向きとセンス電流磁界の向きとを一致させるための説明図であり、本発明の実施の形態である磁気検出素子の構造をY-Z平面と平行な面で切断して見た部分断面図、

【図 15】

本発明の実施の形態である磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図16】

本発明の実施の形態である磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図17】

本発明の実施の形態である磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図18】

本発明の実施の形態である磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図19】

本発明の実施の形態である磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図20】

本発明の実施の形態である磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図21】

図18に示された磁気検出素子の部分平面図、

【図22】

非磁性金属層と固定磁性層の第1の磁性層の中央部が整合しつつ、歪みが生じている状態を示す模式図、

【図23】

非磁性金属層と固定磁性層の第1の磁性層の中央部が整合している状態を示す模式図、

【図24】

非磁性金属層と固定磁性層の第1の磁性層の中央部が非整合している状態を示す模式図、

【図25】

本発明の磁気検出素子の固定磁性層の中央部付近の部分断面図、

【図 2 6】

本発明の磁気検出素子の固定磁性層の中央部付近の部分断面図、

【図 2 7】

本発明の磁気検出素子の固定磁性層の中央部付近の部分断面図、

【図 2 8】

図 1 の形態の磁気検出素子の製造工程を示す一工程図、

【図 2 9】

図 2 8 の次に行なわれる一工程図、

【図 3 0】

図 2 9 の次に行なわれる一工程図、

【図 3 1】

図 3 0 の次に行なわれる一工程図、

【図 3 2】

図 3 1 の次に行なわれる一工程図、

【図 3 3】

図 4 の形態の磁気検出素子の製造工程を示す一工程図、

【図 3 4】

図 3 3 の次に行なわれる一工程図、

【図 3 5】

図 3 4 の次に行なわれる一工程図、

【図 3 6】

図 1 0 の形態の磁気検出素子の製造工程を示す一工程図、

【図 3 7】

図 3 6 の次に行なわれる一工程図、

【図 3 8】

図 3 7 の次に行なわれる一工程図、

【図 3 9】

図38の次に行なわれる一工程図、

【図40】

図11の形態の磁気検出素子の製造工程を示す一工程図、

【図41】

図40の次に行なわれる一工程図、

【図42】

図41の次に行なわれる一工程図、

【図43】

図42の次に行なわれる一工程図、

【図44】

図36及び図37とは別の製造方法を示すための一工程図、

【図45】

図44の次に行なわれる一工程図、

【図46】

図36及び図37とは別の製造方法を示すための一工程図、

【図47】

図46の次に行なわれる一工程図、

【図48】

図12の形態の磁気検出素子の製造工程を示す一工程図

【図49】

図48の次に行なわれる一工程図、

【図50】

実験に使用した磁気検出素子（実施例）の構造を示す模式図、

【図51】

図50の磁気検出素子を使用して求めた、トラック幅 R_{Tw} と一方向性交換バイアス磁界 H_{ex*} との関係を示すグラフ、

【図52】

図50の磁気検出素子を使用して求めた、トラック幅 R_{Tw} と規格化出力との関係を示すグラフ、

【図53】

実験に使用した磁気検出素子（比較例）の構造を示す模式図、

【図54】

図53の磁気検出素子を使用して求めた、トラック幅R Twと一方向性交換バイアス磁界H ex*との関係を示すグラフ、

【図55】

図53の磁気検出素子を使用して求めた、トラック幅R Twと規格化出力との関係を示すグラフ、

【図56】

図50の磁気検出素子のフリー磁性層を第2の反強磁性層で磁化固定し、その状態での磁気検出素子を使用して求めた、固定磁性層の単位面積当たりの合成磁気モーメント（Net Mst）と、 ΔV （±1000Oe）／ ΔV （±4000Oe）との関係を示すグラフ、

【図57】

図50の磁気検出素子のフリー磁性層を第2の反強磁性層で磁化固定し、その状態での磁気検出素子を使用して求めた、第2の磁性層の膜厚から第1の磁性層の膜厚を引いた膜厚差と、 ΔV （±1000Oe）／ ΔV （±4000Oe）との関係を示すグラフ、

【図58】

図50とは異なる材質によって第2の磁性層を形成した磁気検出素子を使用して求めた、固定磁性層の単位面積当たりの合成磁気モーメント（Net Mst）と、 ΔV （±1000Oe）／ ΔV （±4000Oe）との関係を示すグラフ、

【図59】

図50とは異なる材質によって第2の磁性層を形成した磁気検出素子を使用して求めた、第2の磁性層の膜厚から第1の磁性層の膜厚を引いた膜厚差と、 ΔV （±1000Oe）／ ΔV （±4000Oe）との関係を示すグラフ、

【図60】

PtMn層にCoFe層を積層し、PtMn層の組成比を変化させたときのCoFeの磁歪の変化を示すグラフ、

【図61】

PtMn層にCoFe層を積層したときと、PtMn層にCo層を積層したときのCo及びCoFeの磁歪定数を示すグラフ、

【図62】

CoFe層の上にPtMn層を積層したときと、Co層の上にPtMn層を積層したときのCo及びCoFeの磁歪定数を示すグラフ、

【図63】

従来における磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図64】

特開2000-163717号公報の図1に掲載された図を書き写した磁気検出素子の部分断面図、

【図65】

特開平8-7325号公報の図5の一部を書き写した磁気検出素子の部分断面図

【符号の説明】

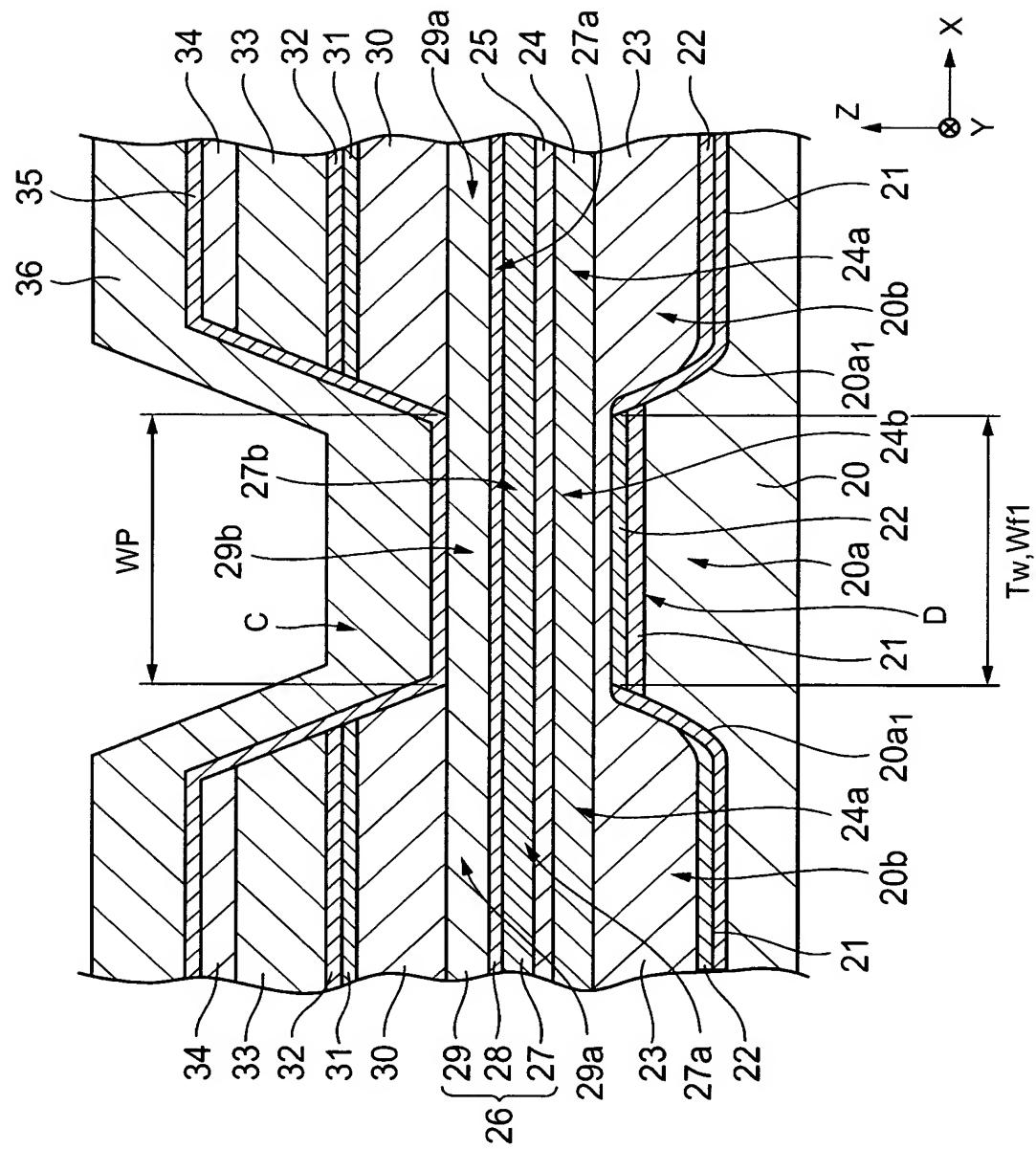
- 20 下部シールド層
- 21 下部ギャップ層
- 23 第2の反強磁性層
- 24 フリー磁性層
- 25 非磁性材料層
- 26、64 固定磁性層
- 27、63 第2の磁性層
- 28、44、62 非磁性中間層
- 29、61 第1の磁性層
- 30 第1の反強磁性層
- 33 電極層
- 35 上部ギャップ層
- 36 上部シールド層

4 1 永久磁石層
4 3 磁性中間層
6 0 第3の反強磁性層
7 0 絶縁層
8 1、9 4、1 0 0 マスク層
8 3、8 7、8 8、8 9 レジスト層
1 0 0、1 0 2 非磁性金属層
1 1 0 絶縁材料層

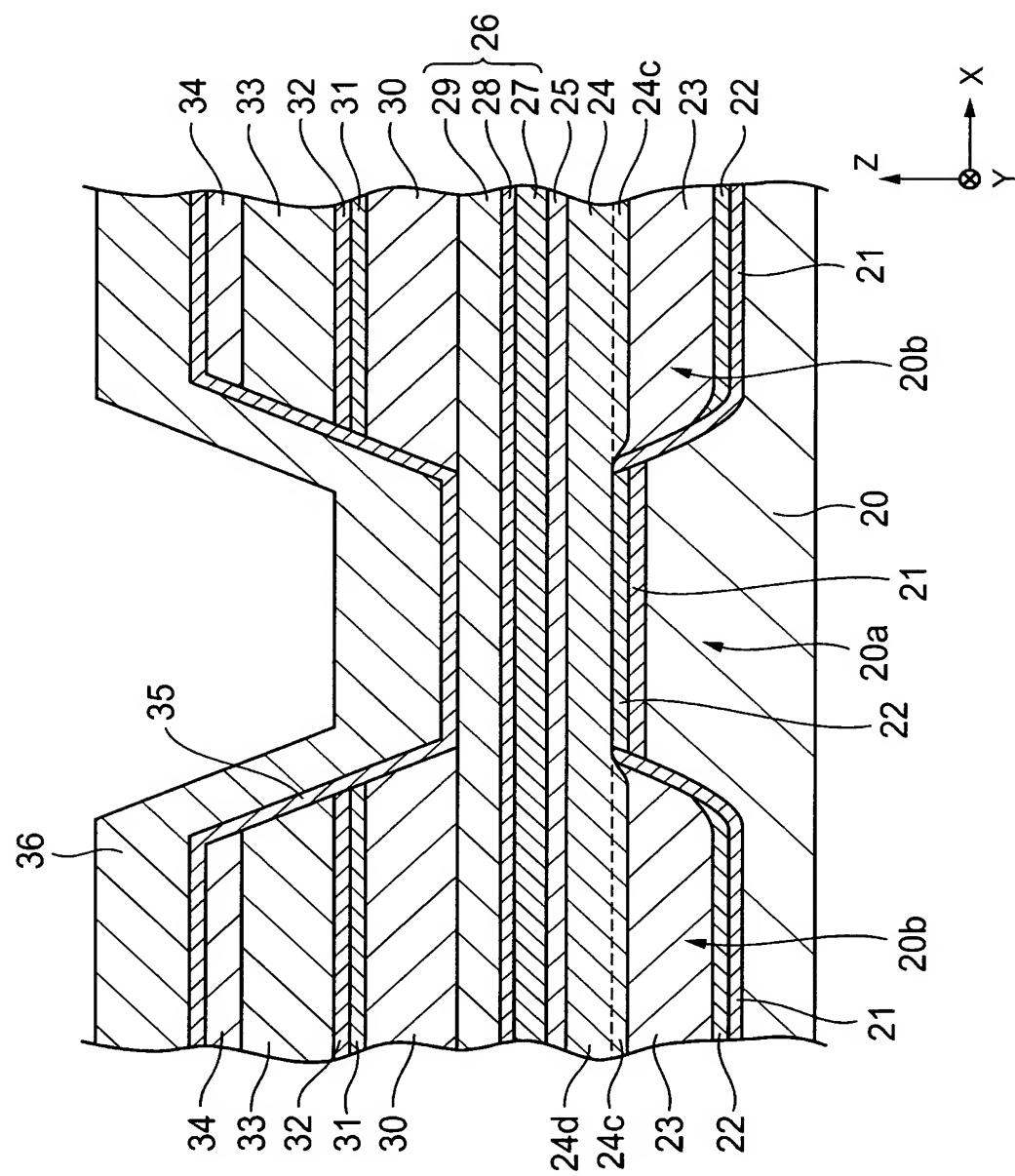
【書類名】

図面

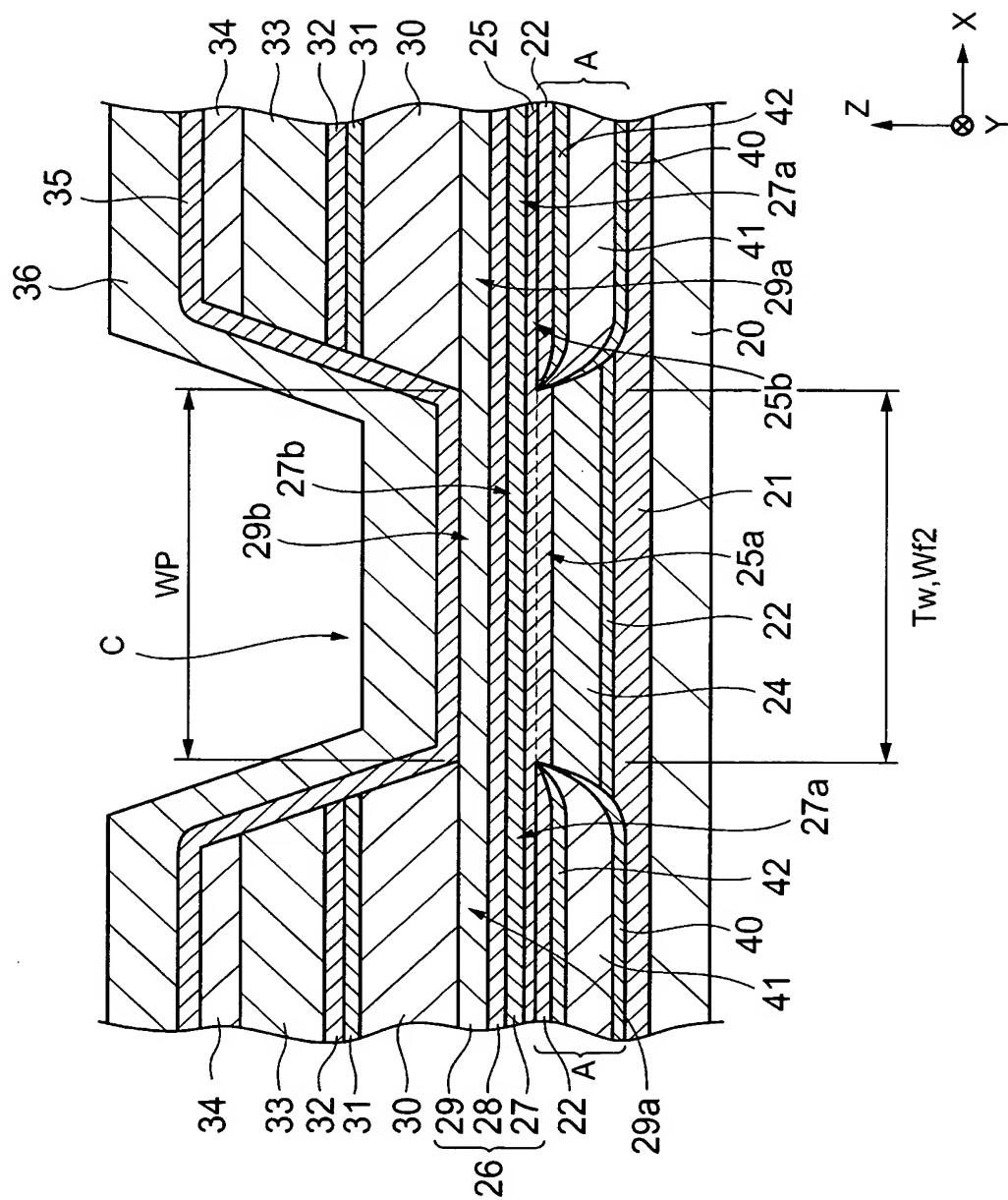
【図1】



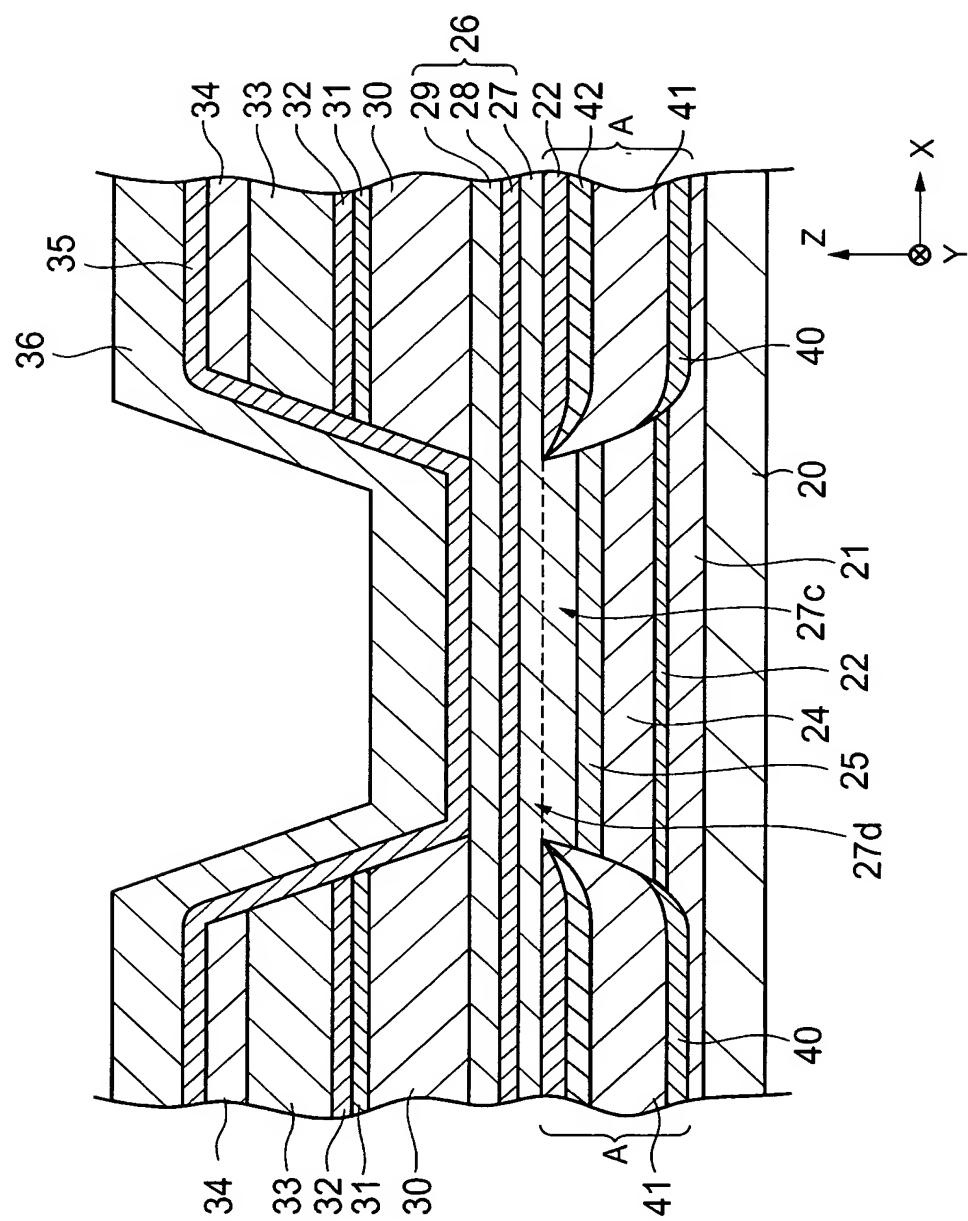
【図2】



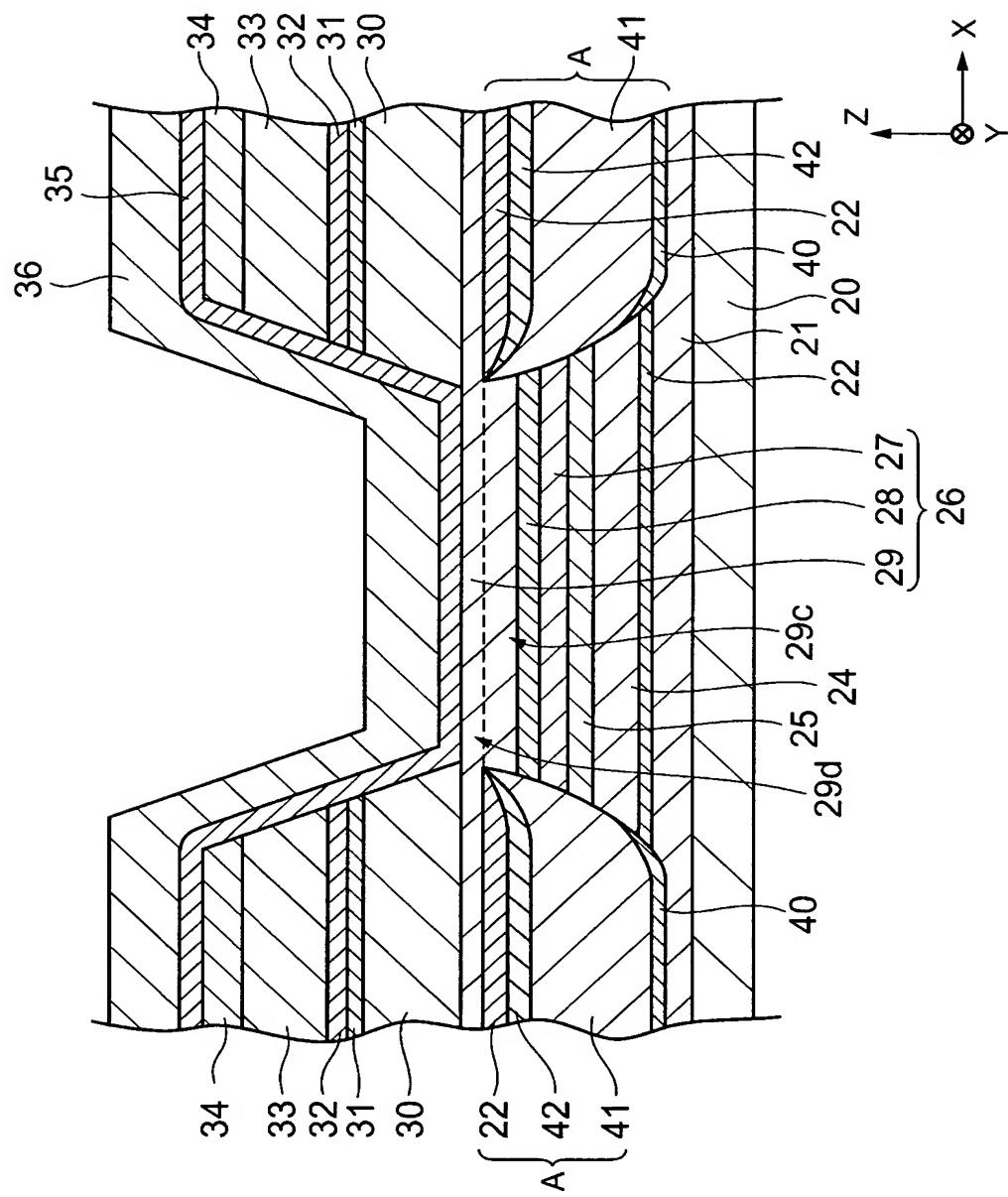
【図3】



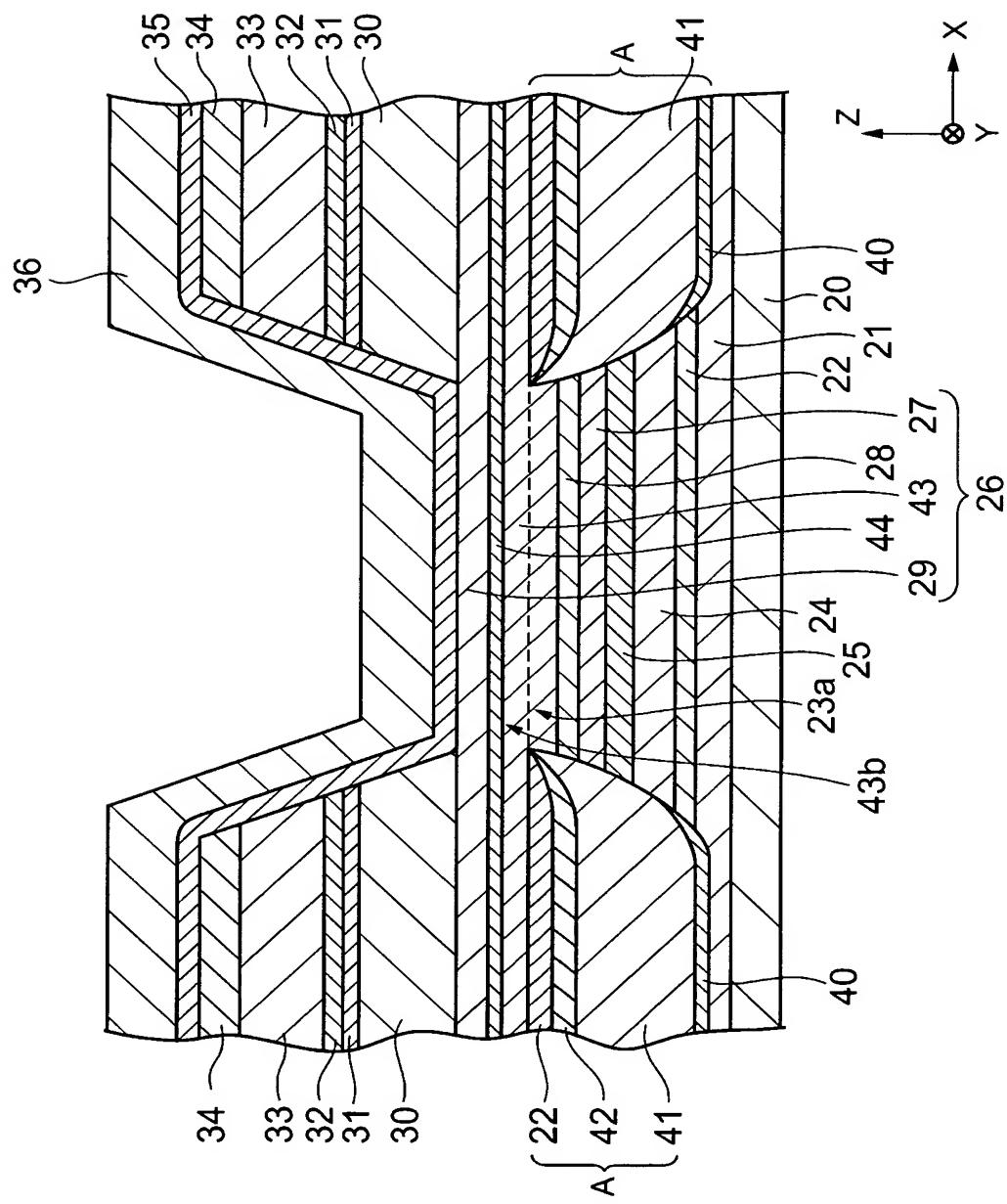
【図4】



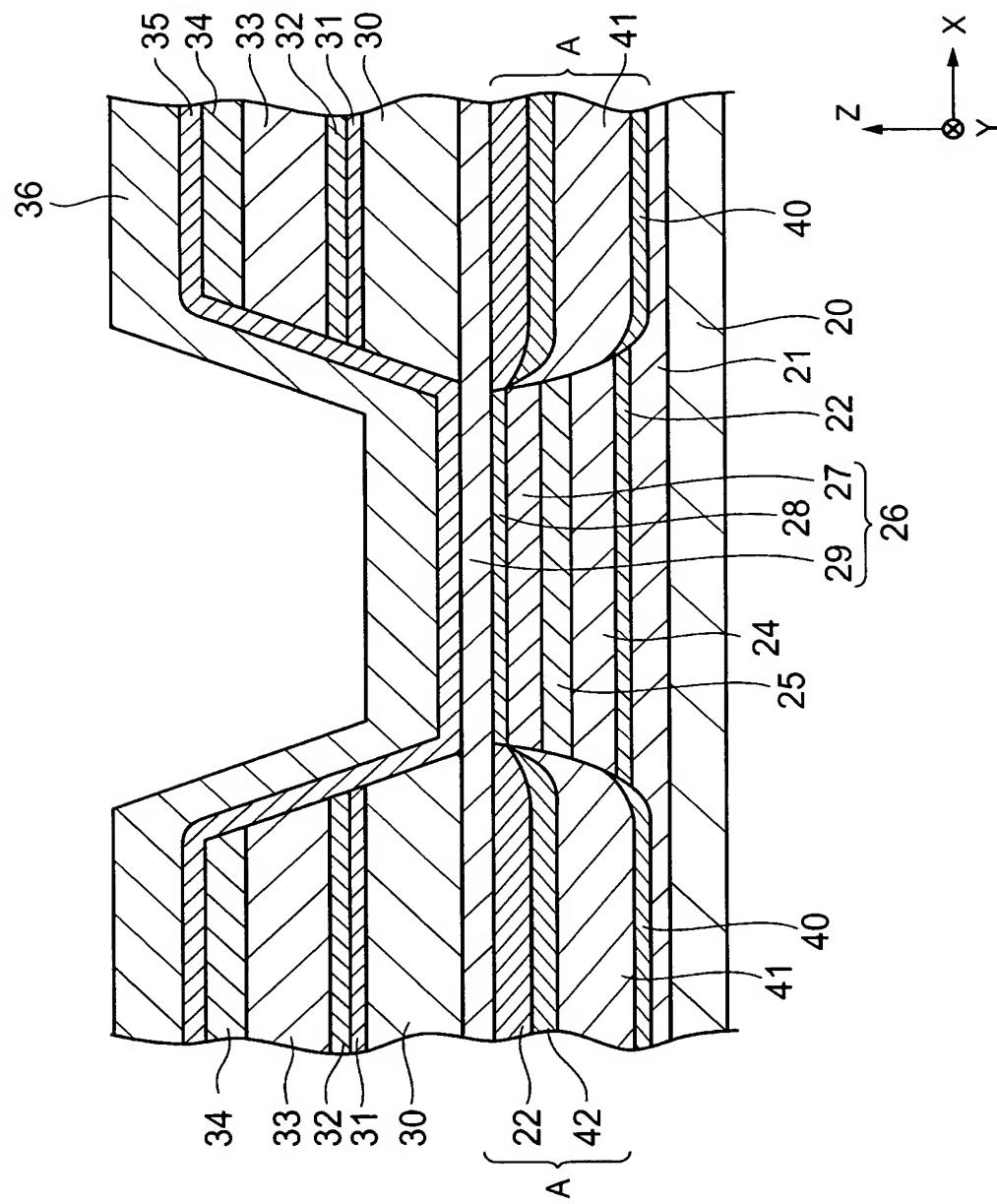
【図5】



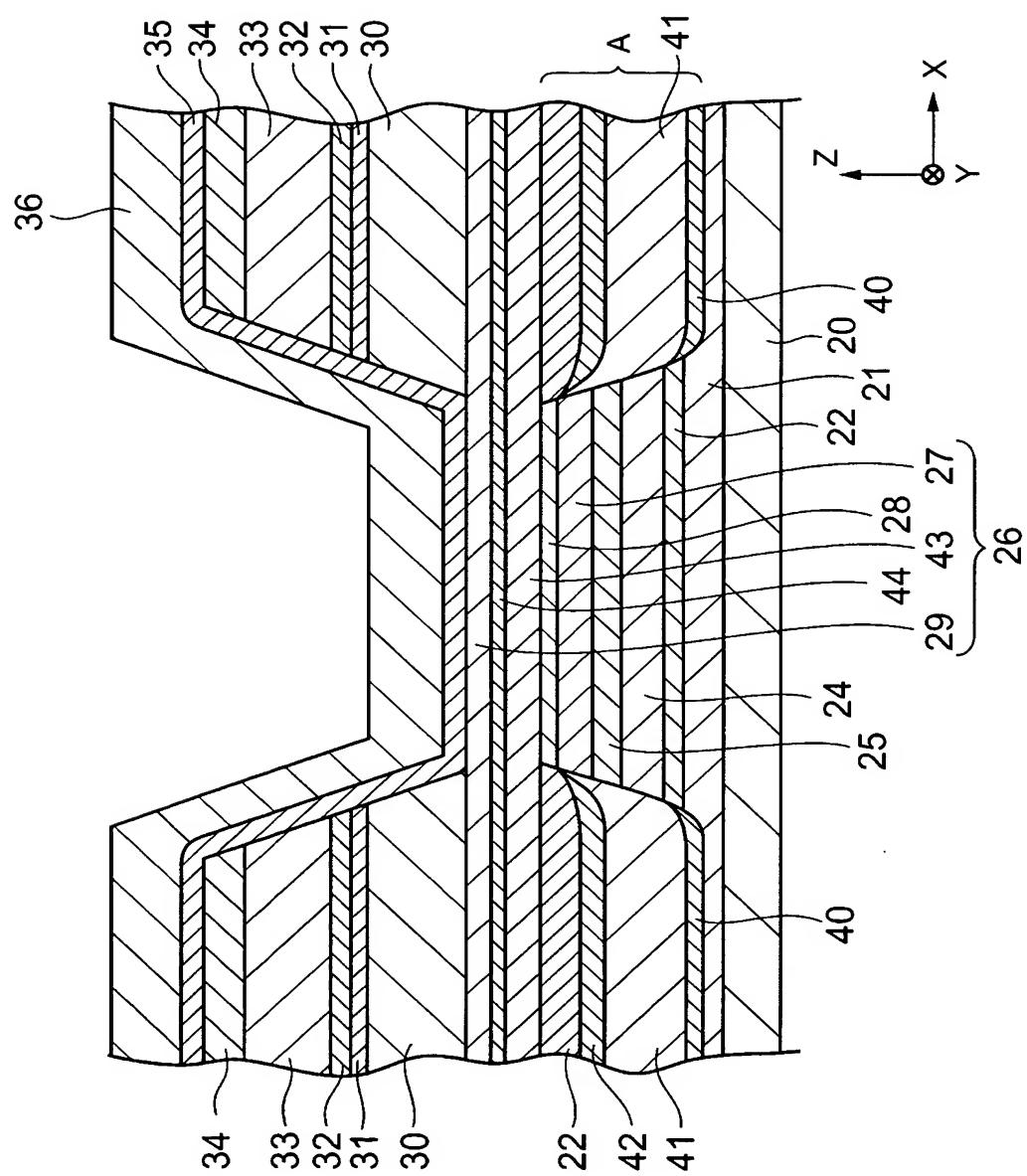
【図6】



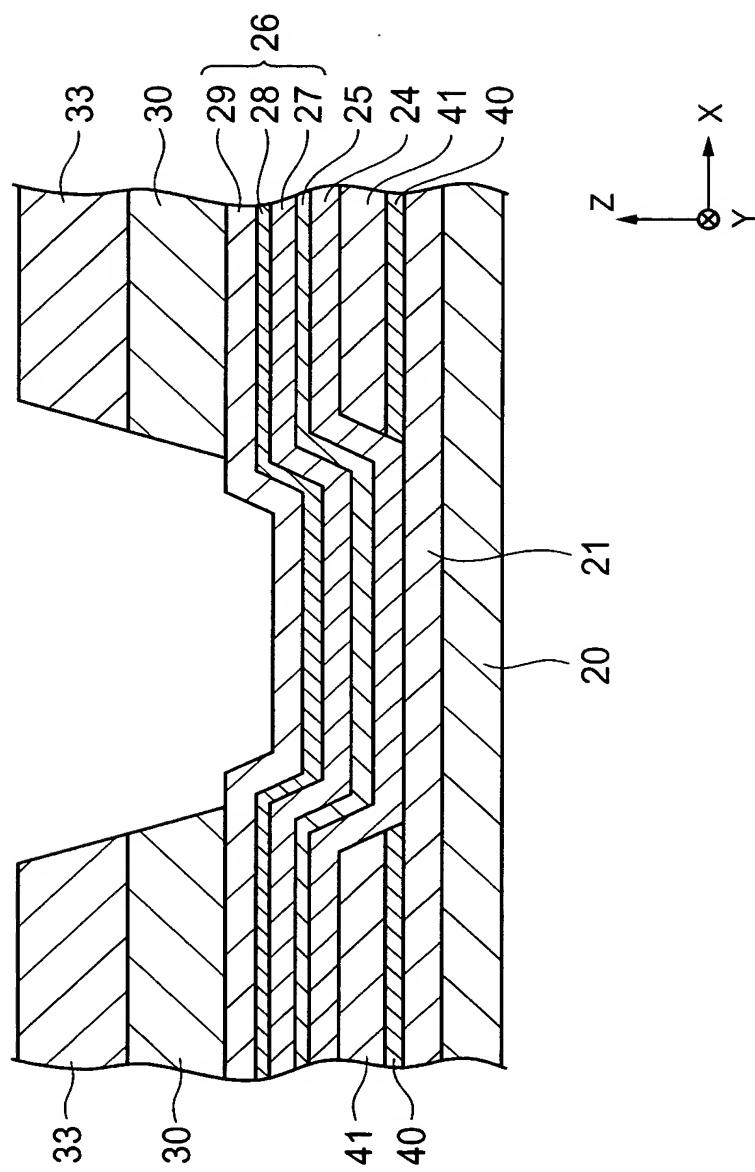
【図7】



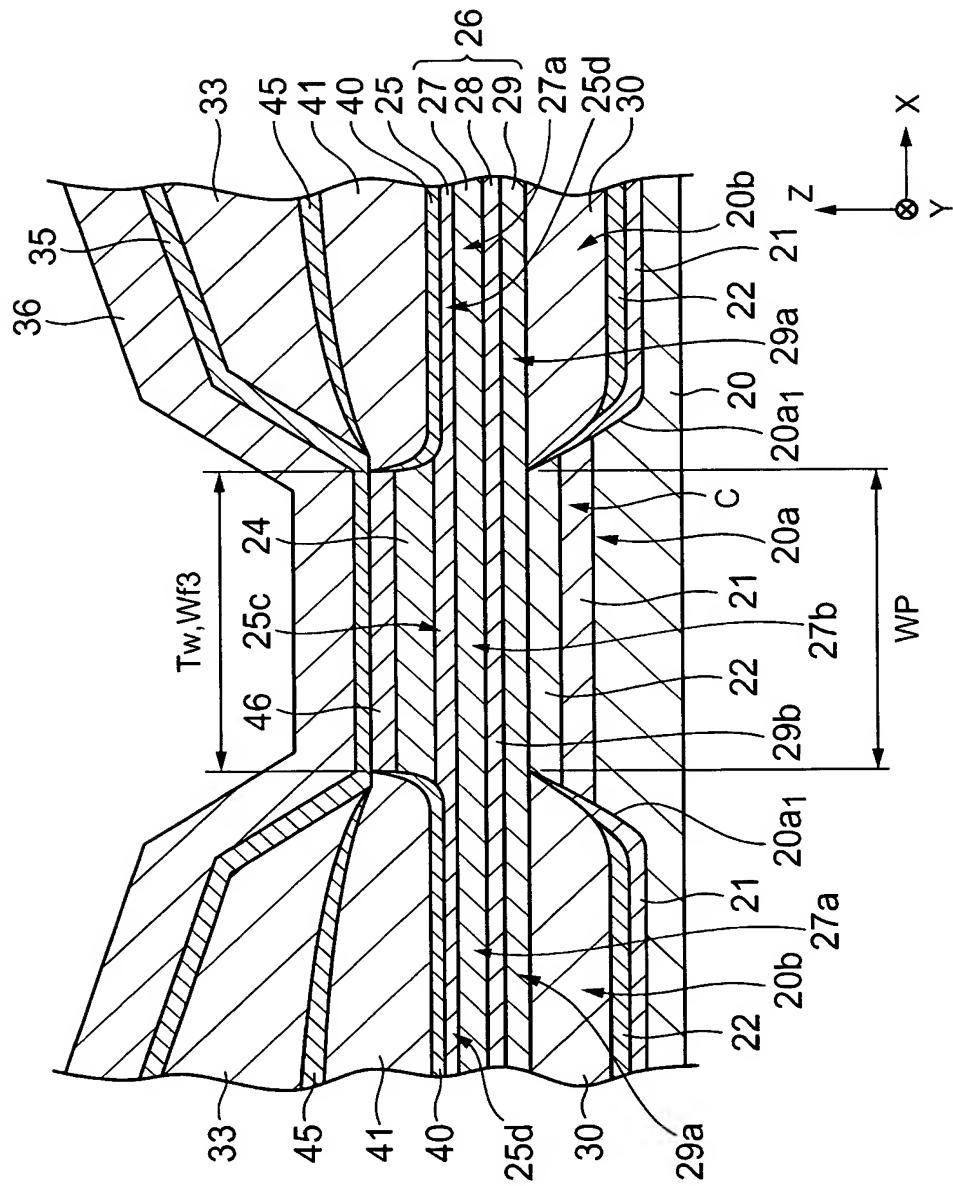
【図8】



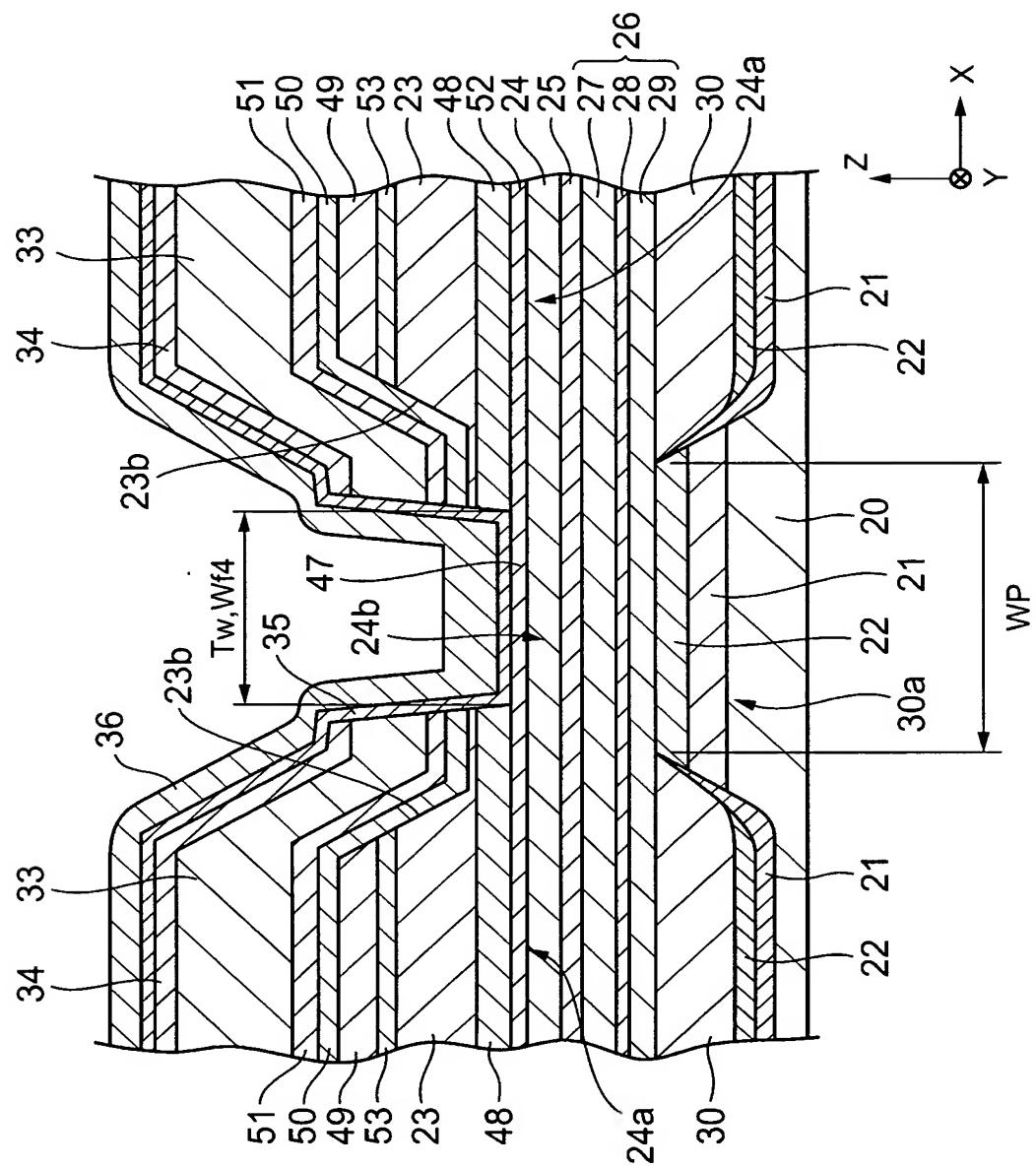
【図9】



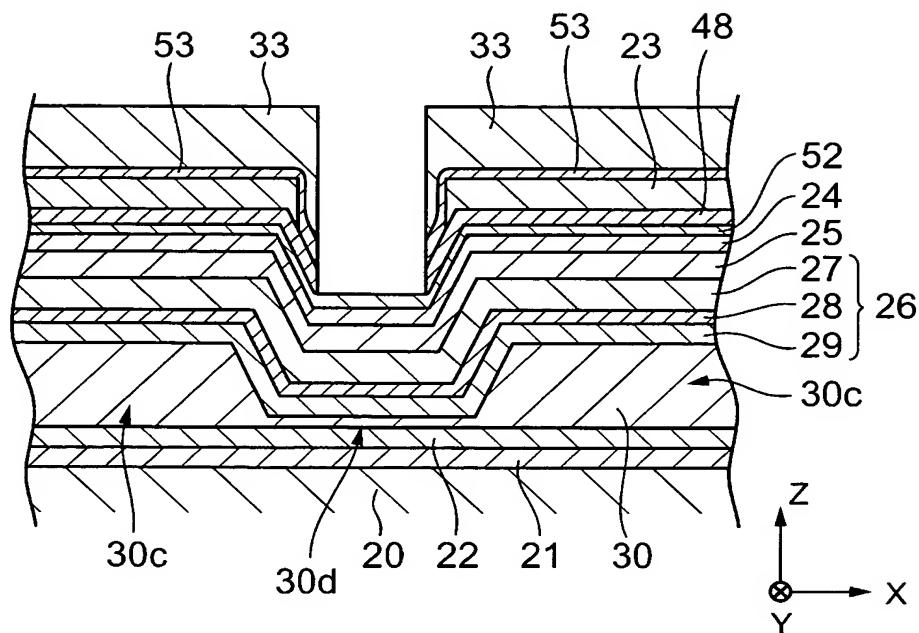
【図10】



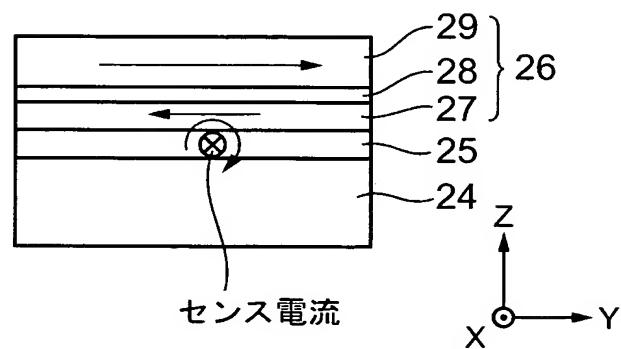
【図11】



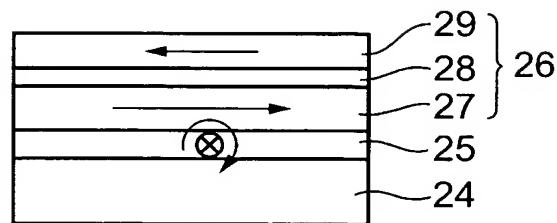
【図12】



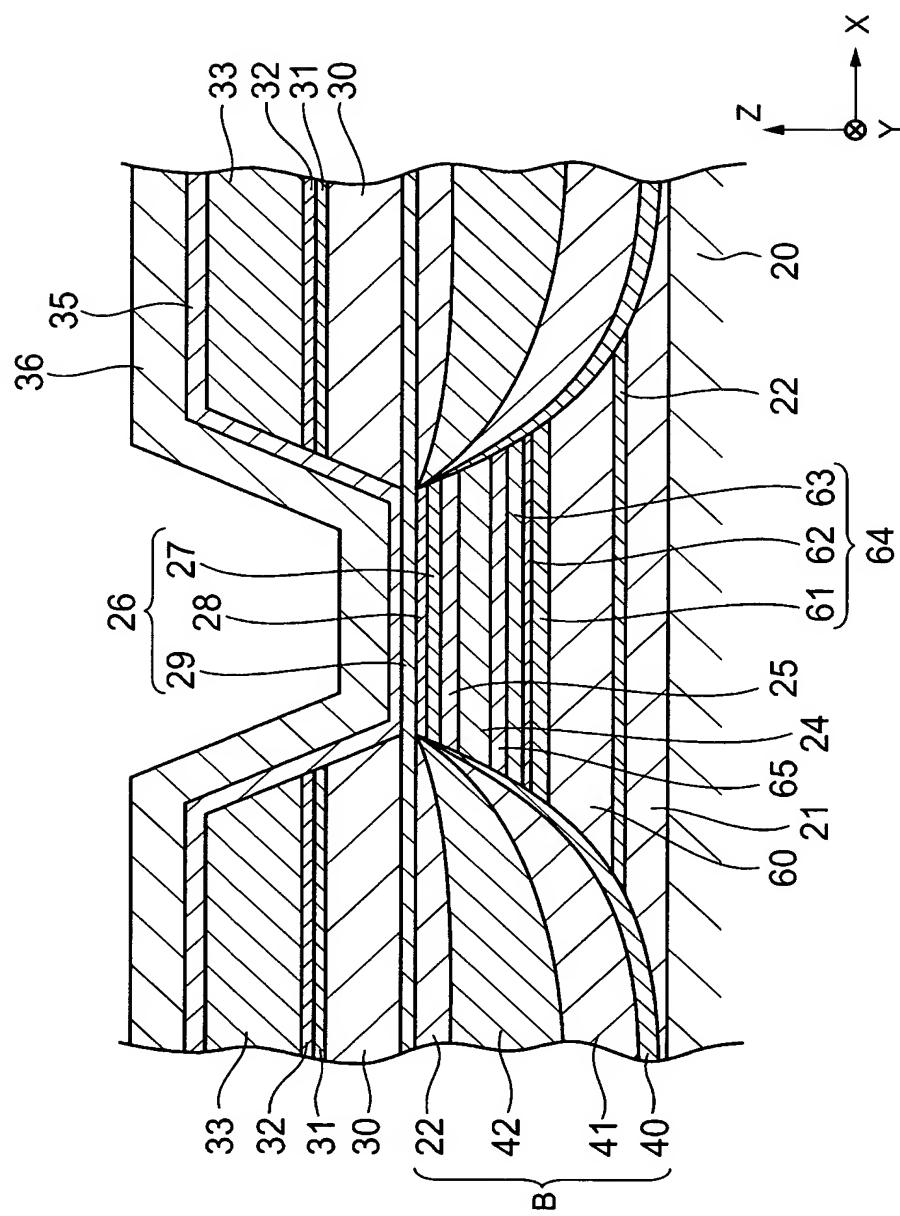
【図13】



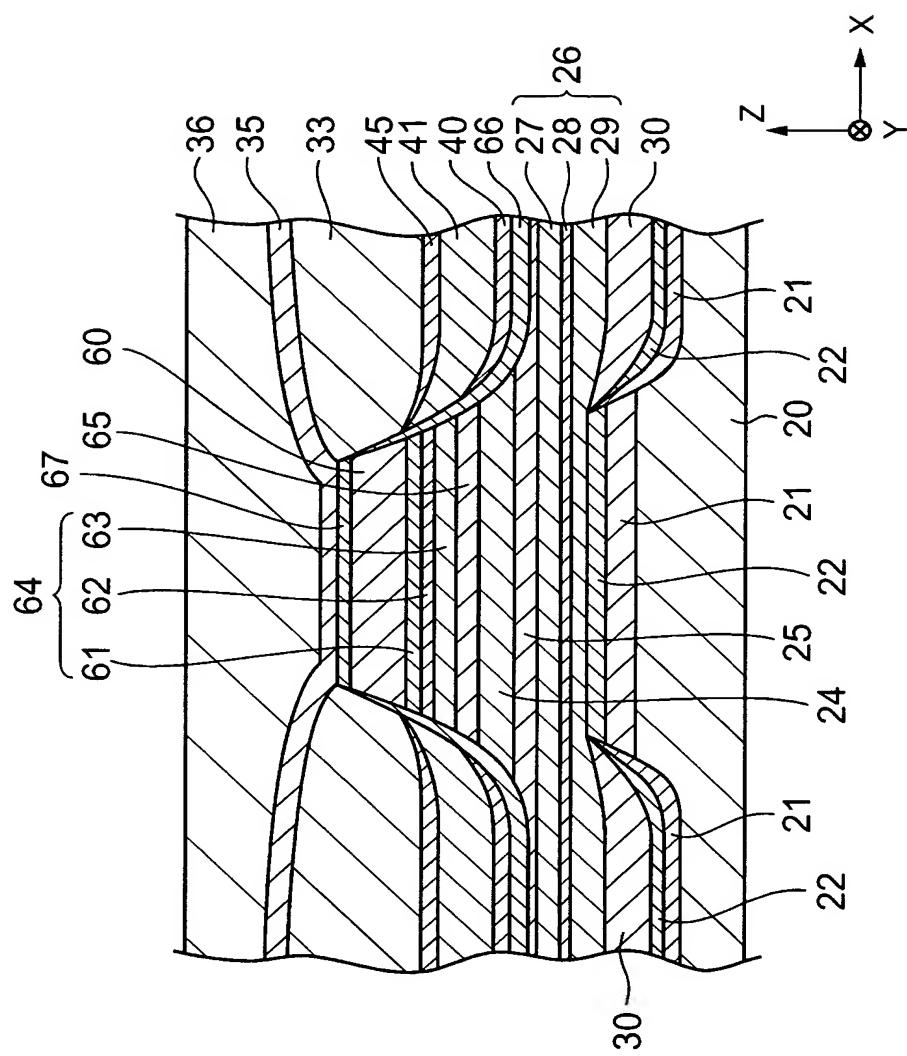
【図14】



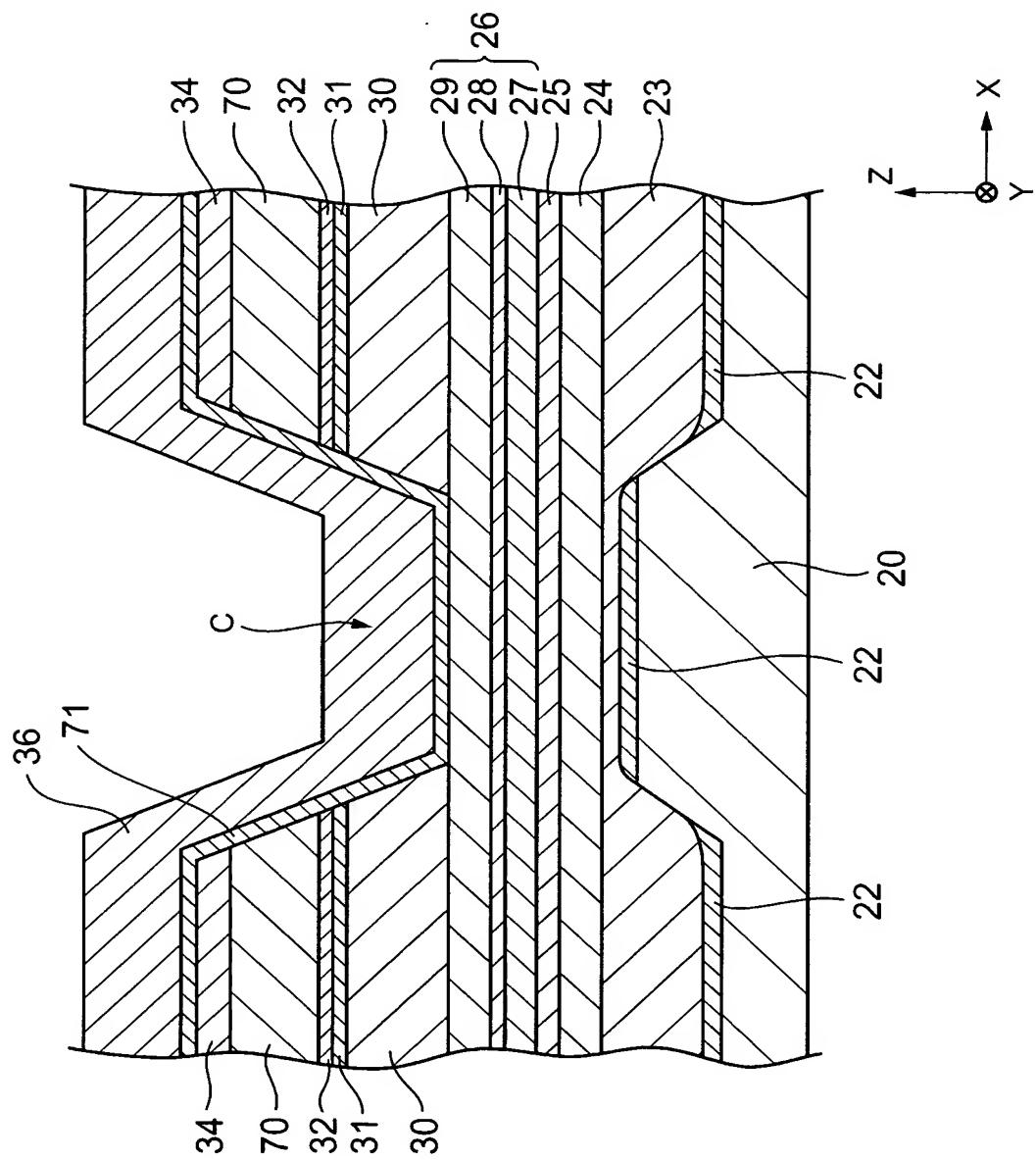
【図15】



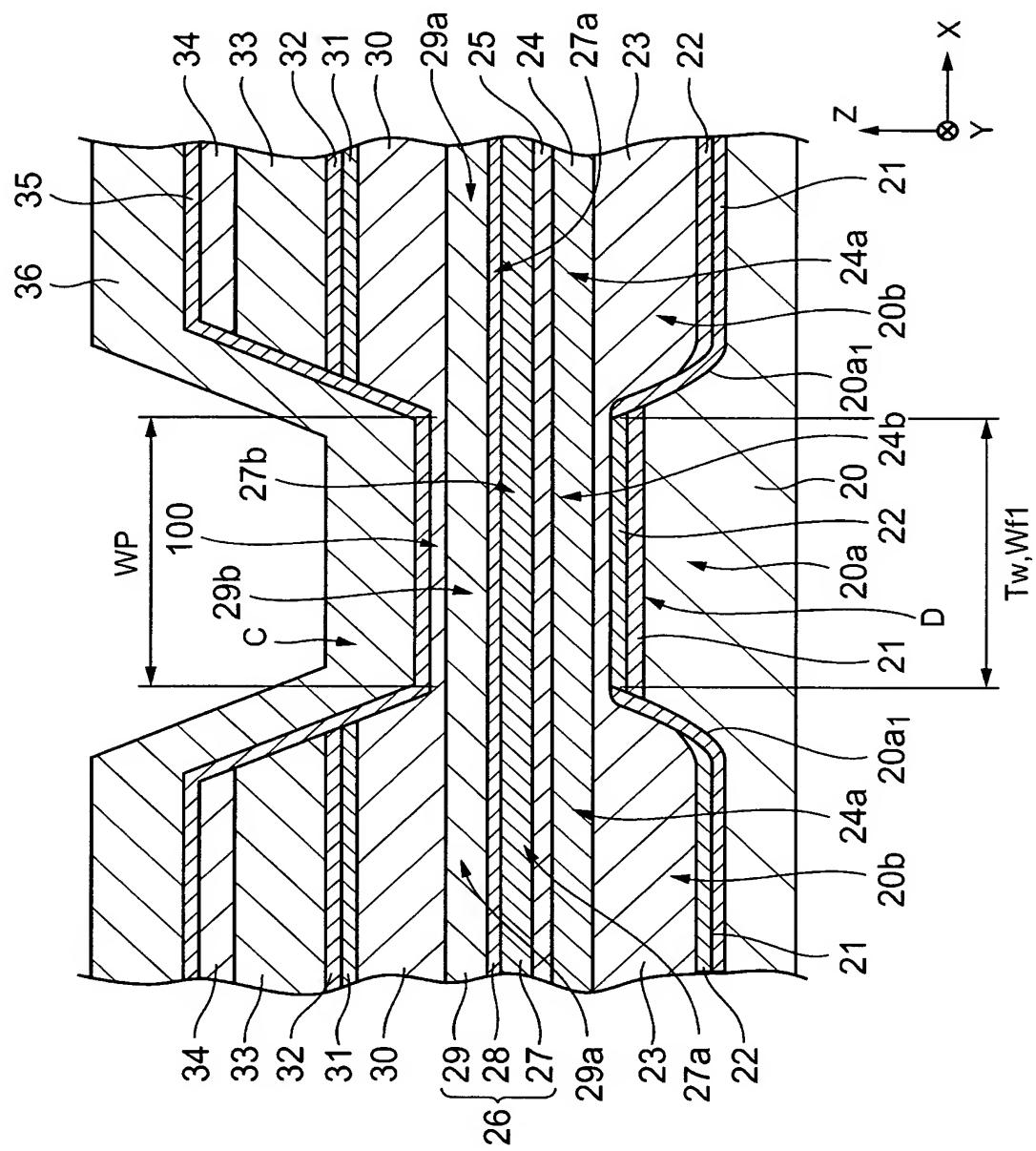
【図16】



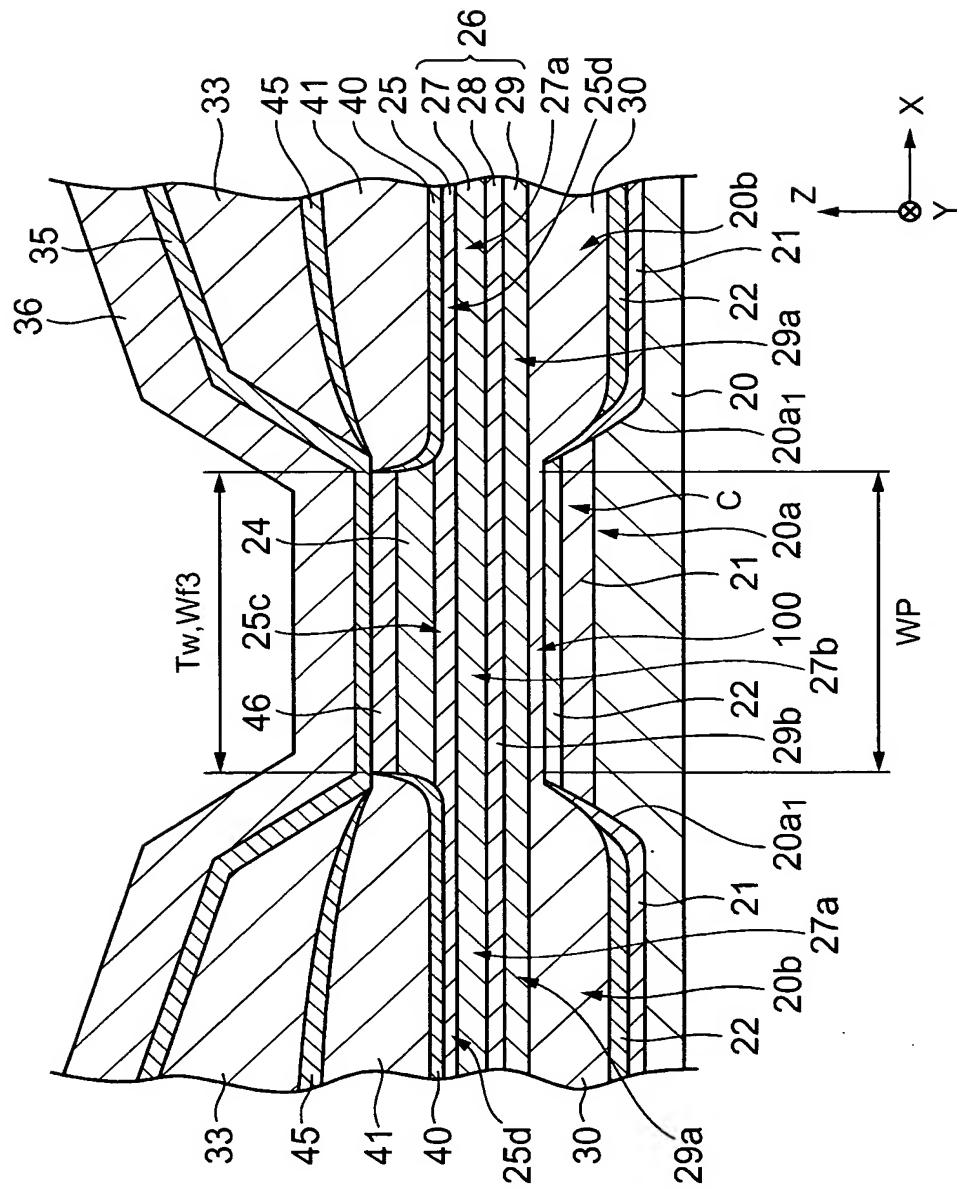
【図17】



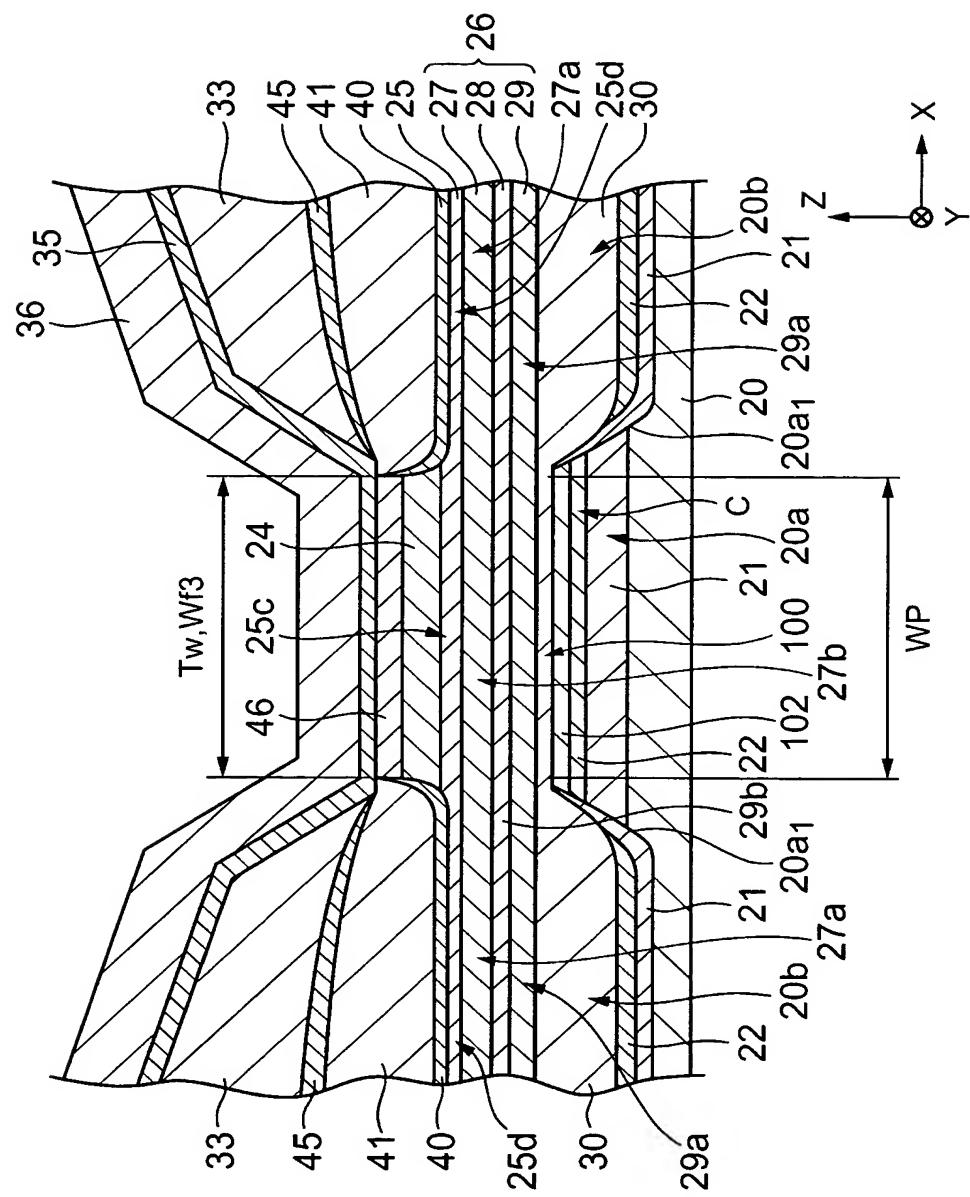
【図18】



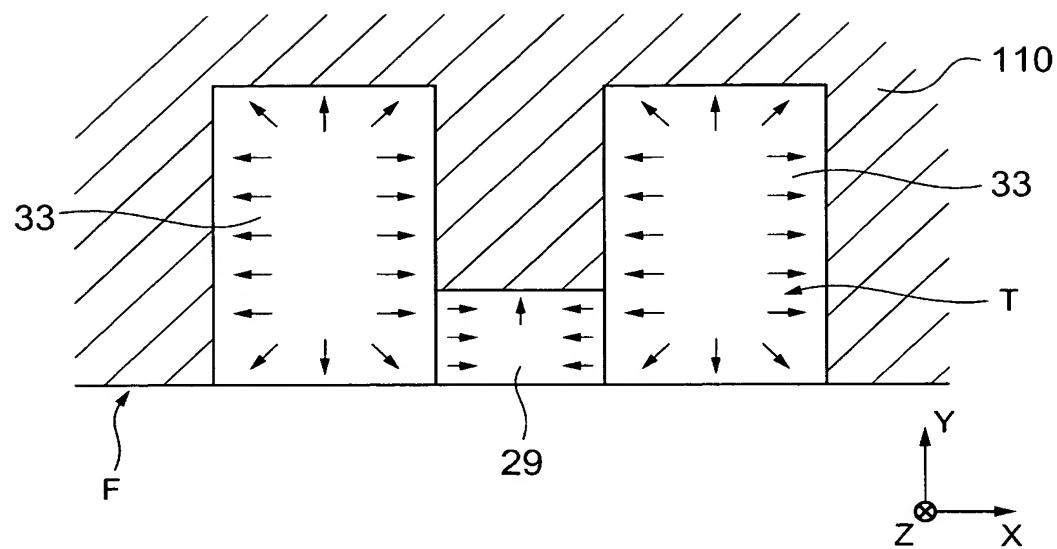
【図19】



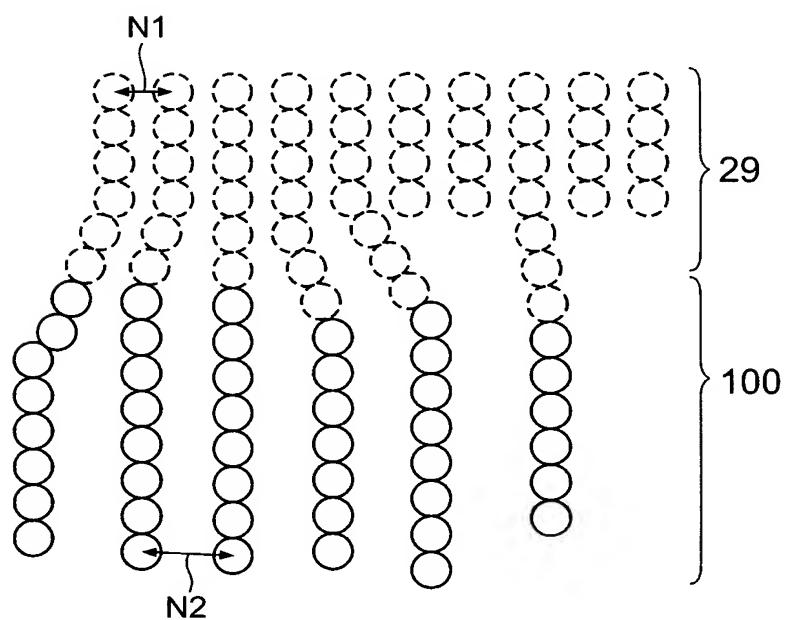
【図20】



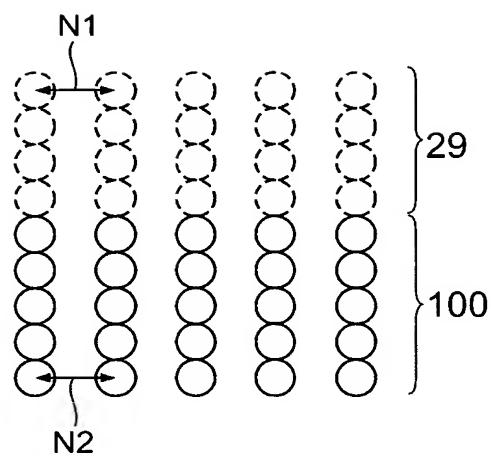
【図 2 1】



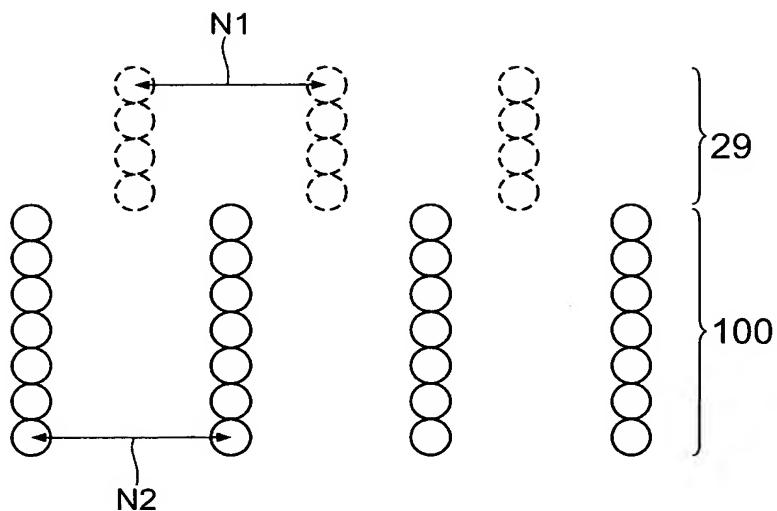
【図 2 2】



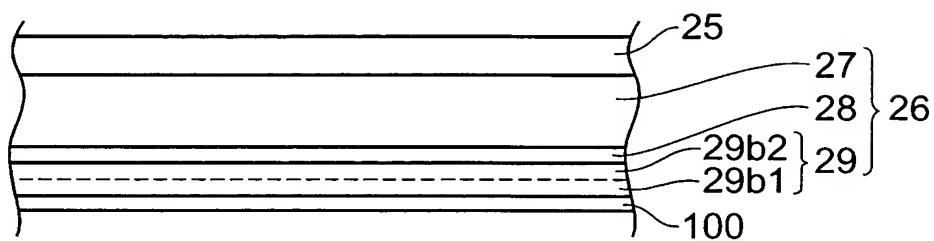
【図 2 3】



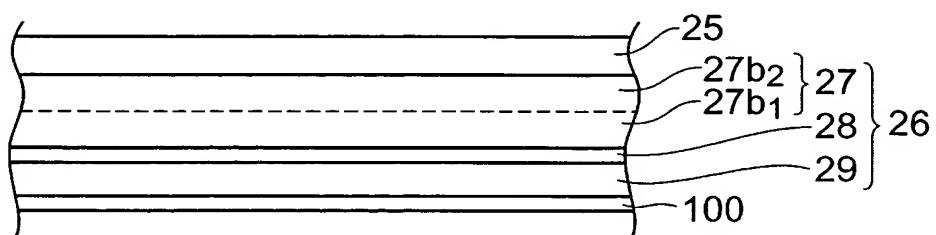
【図 2 4】



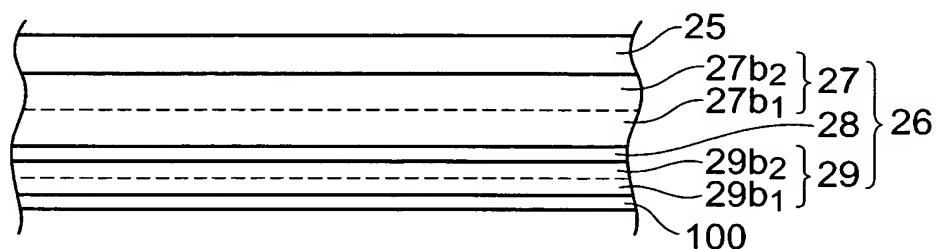
【図25】



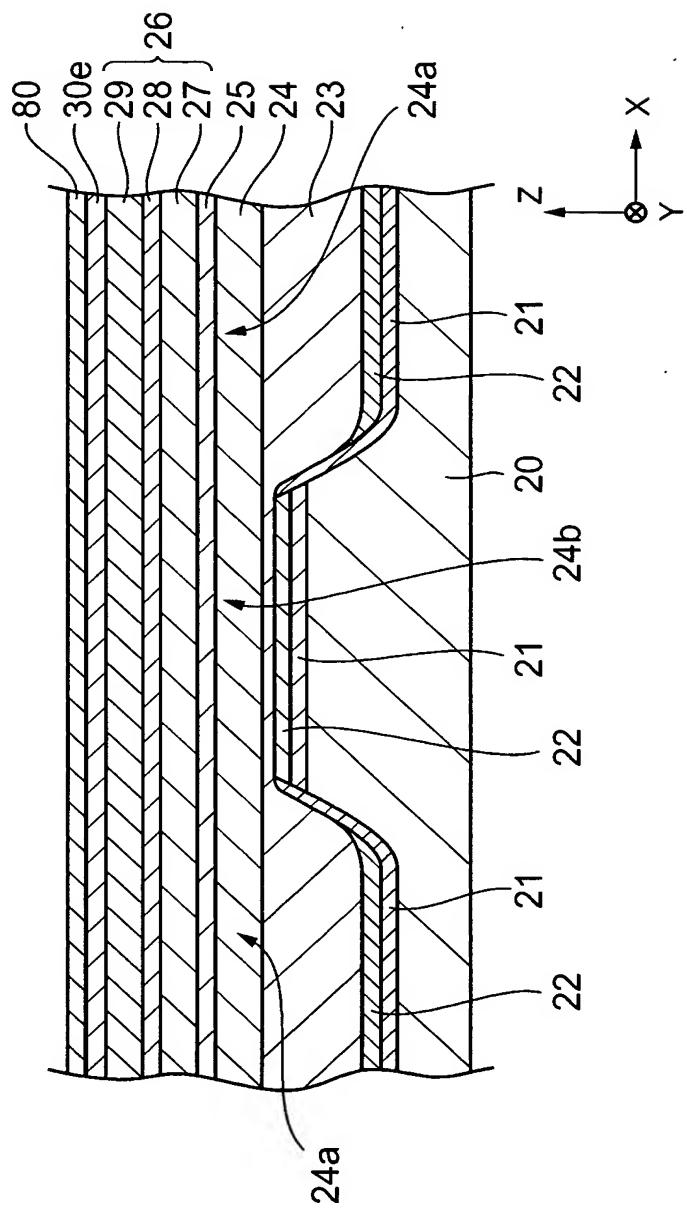
【図26】



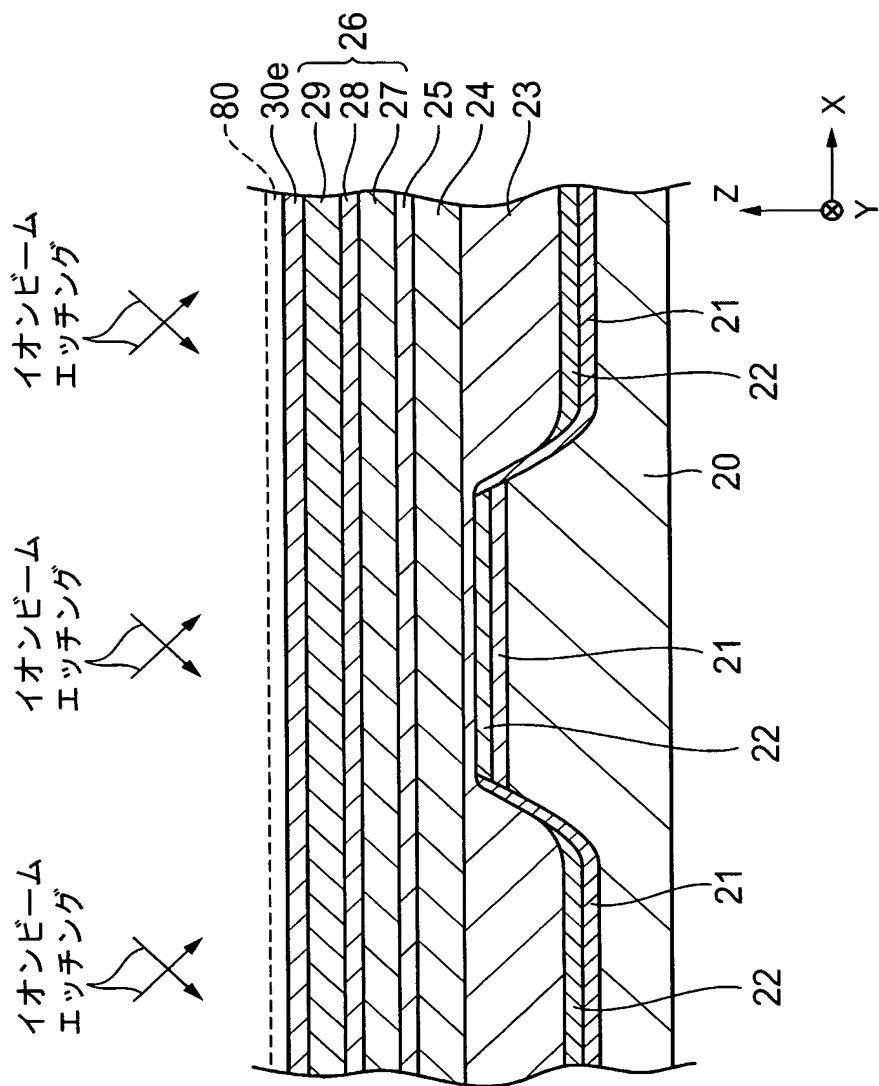
【図27】



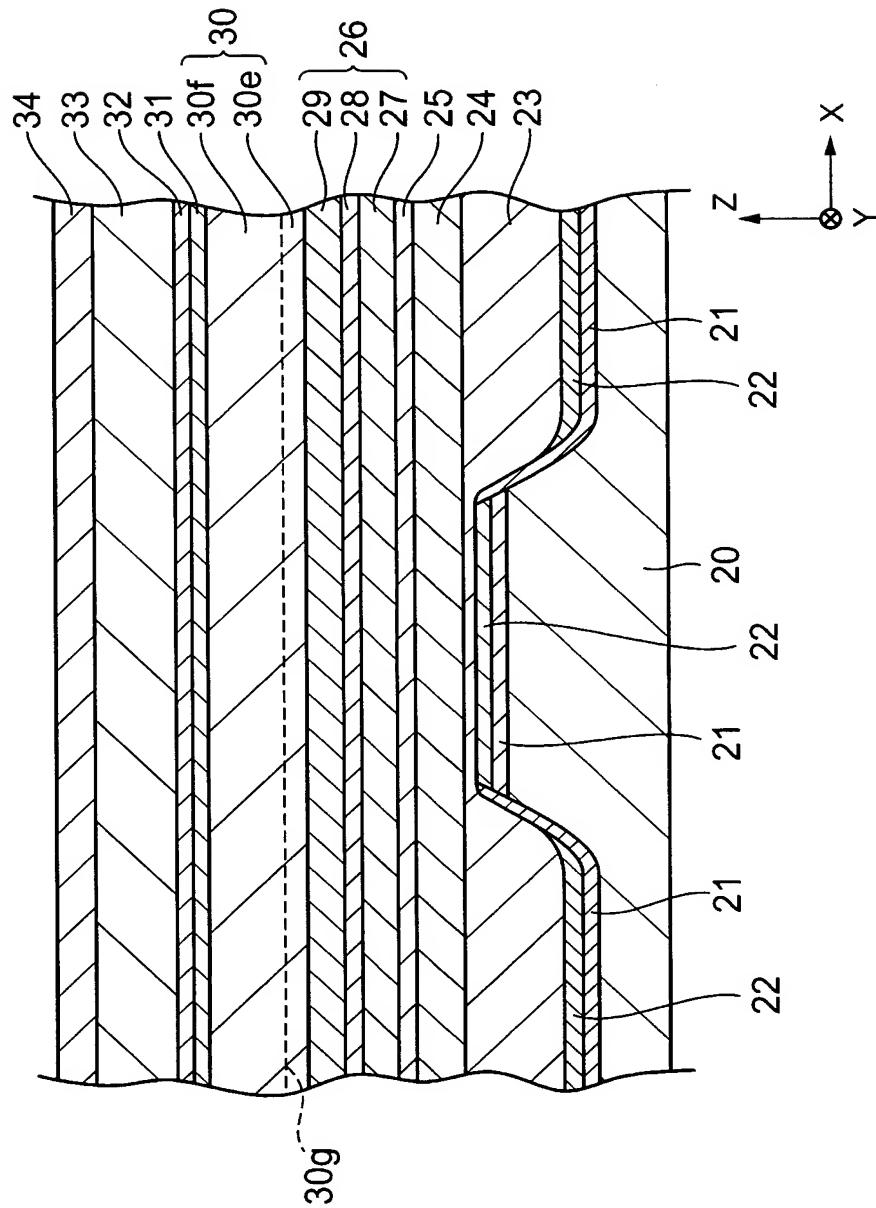
【図28】



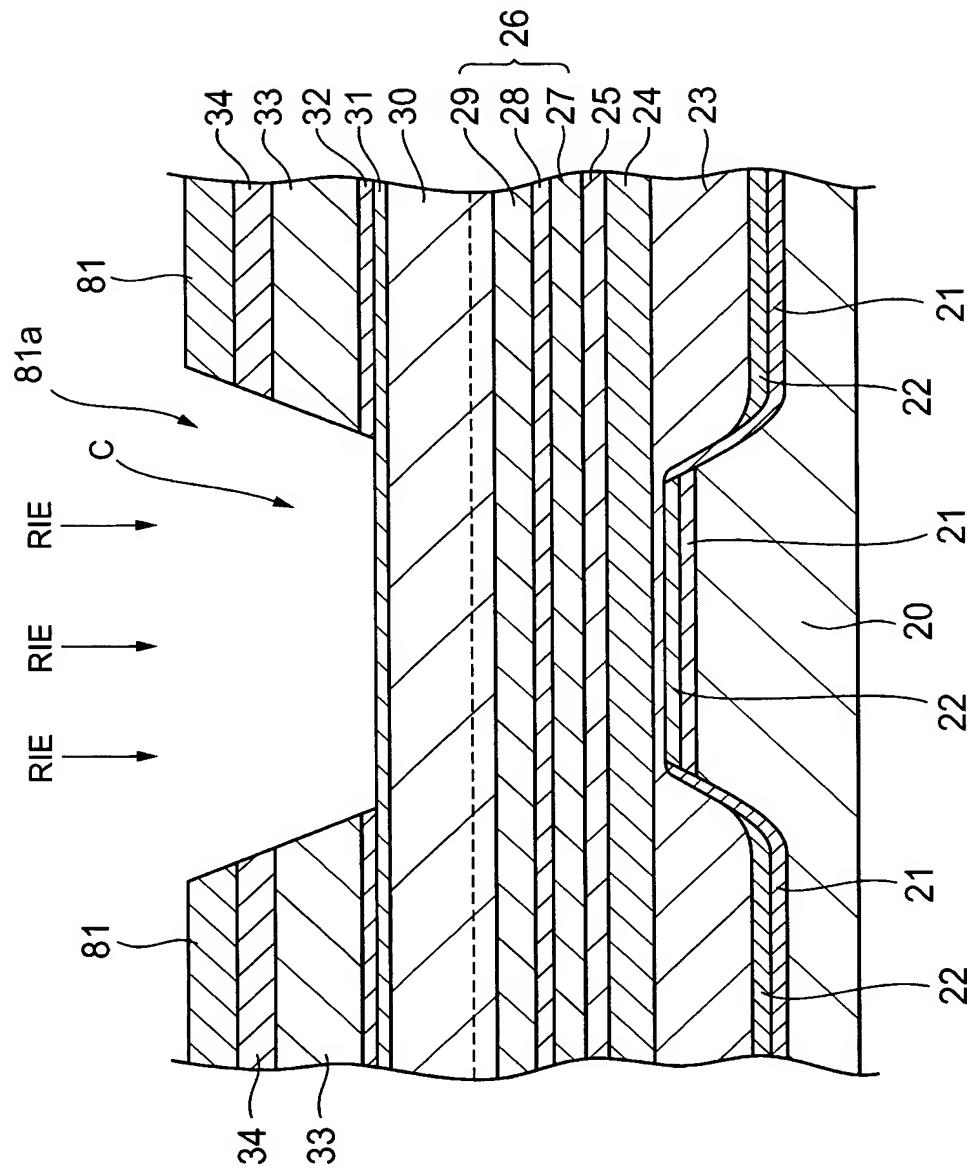
【図29】



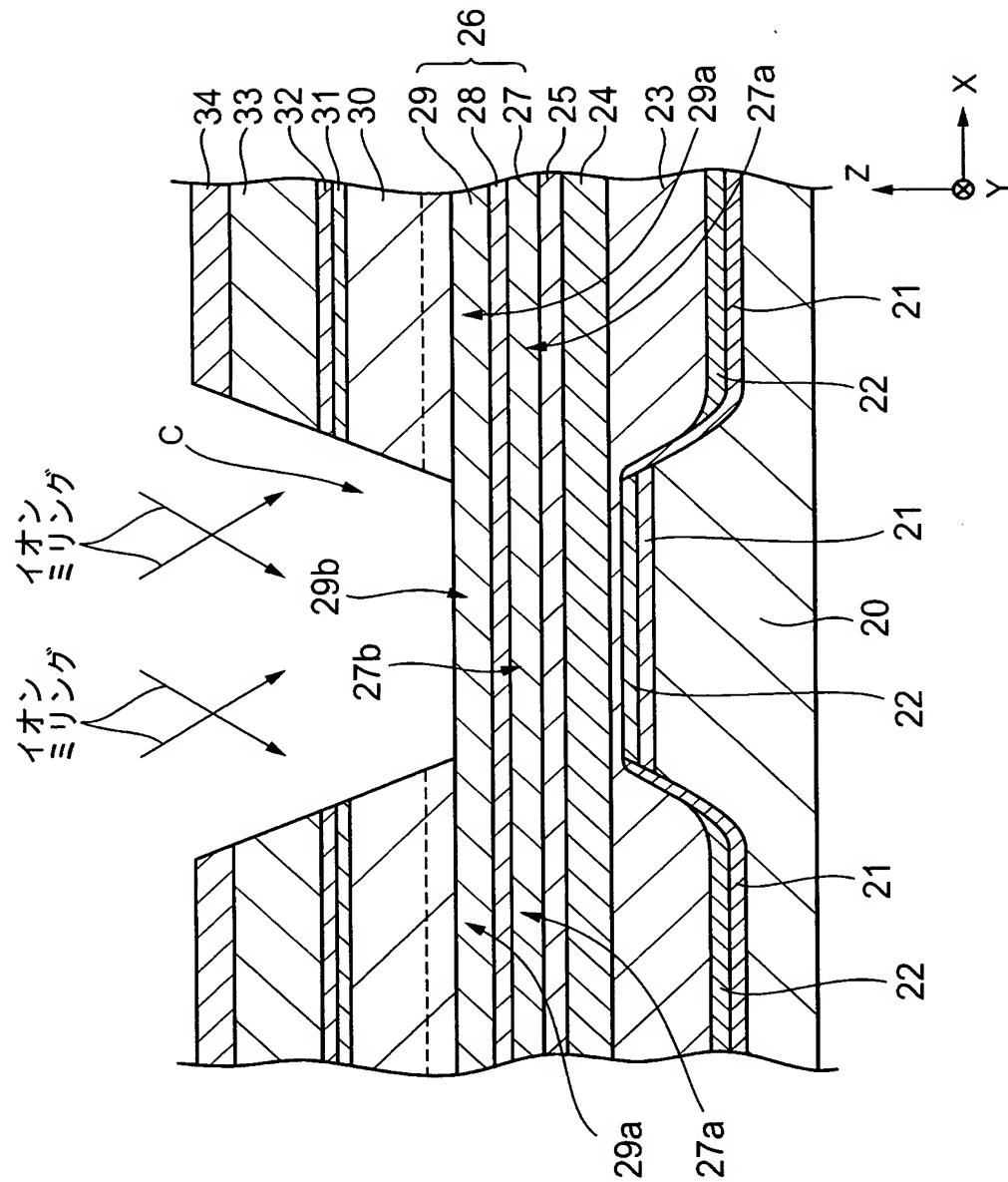
【図30】



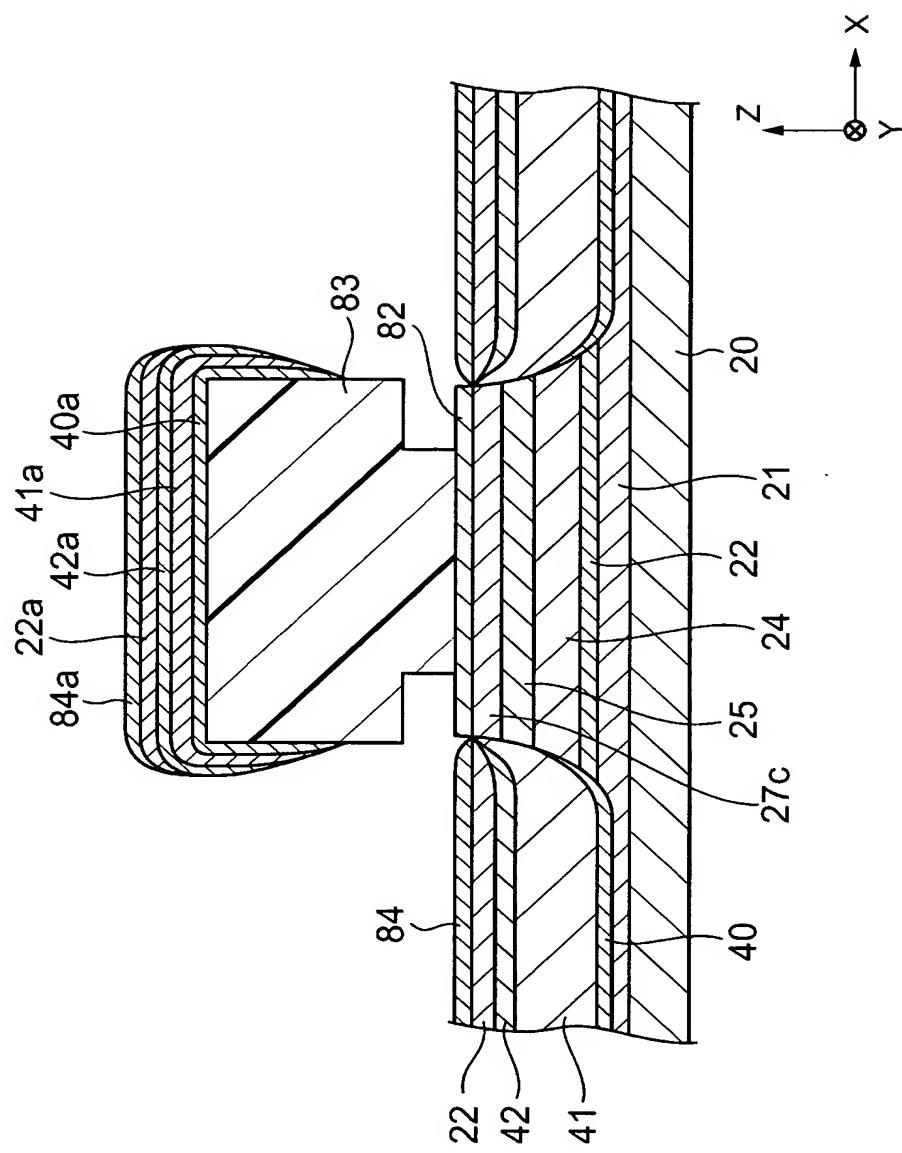
【図3-1】



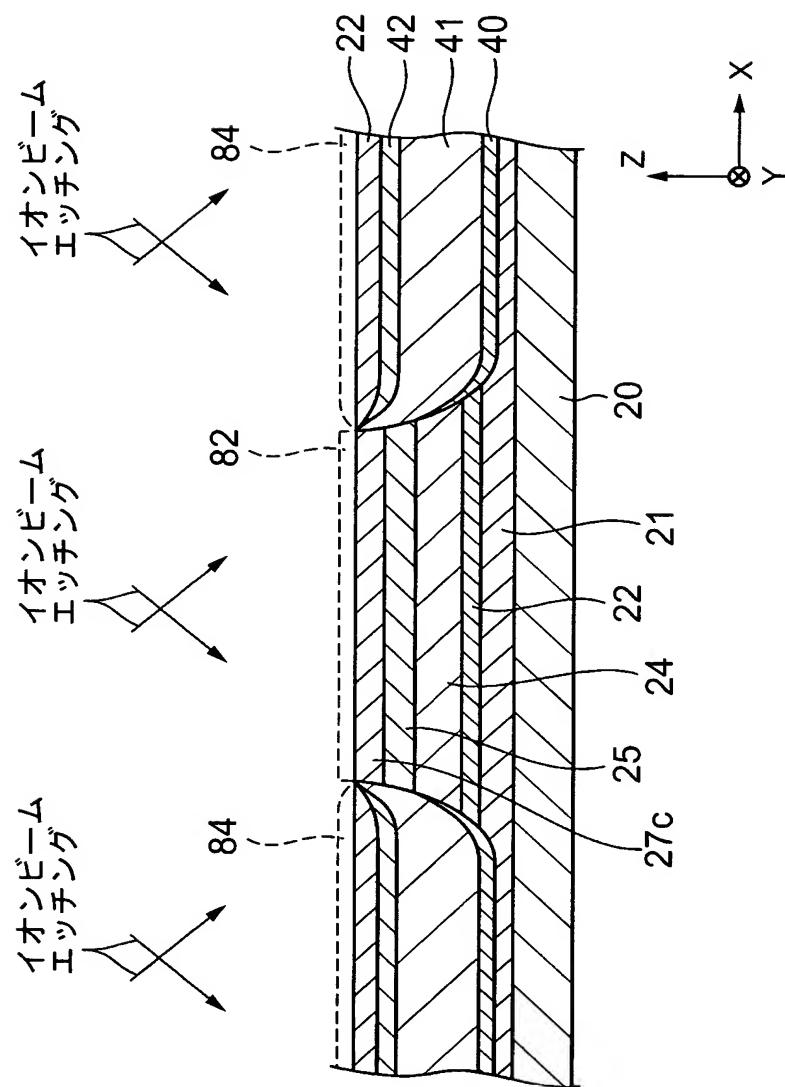
【図32】



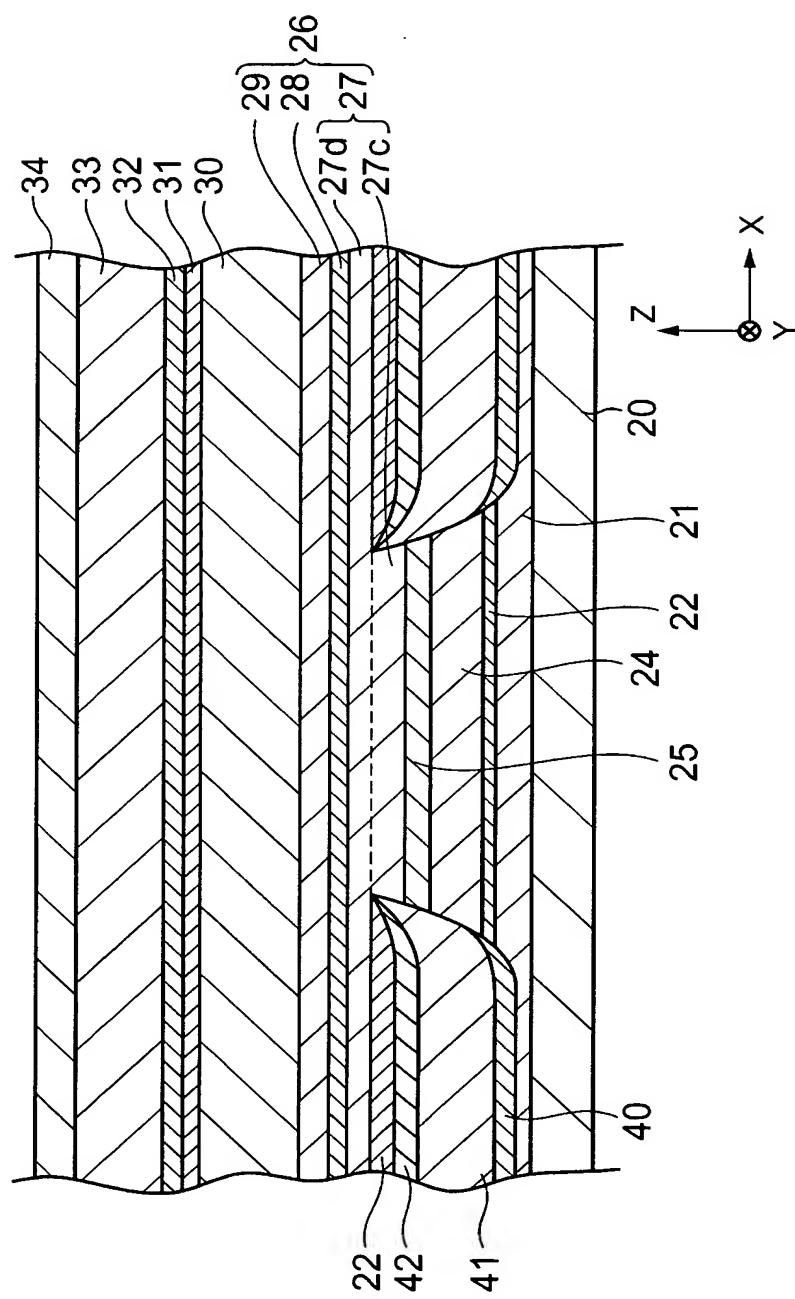
【図33】



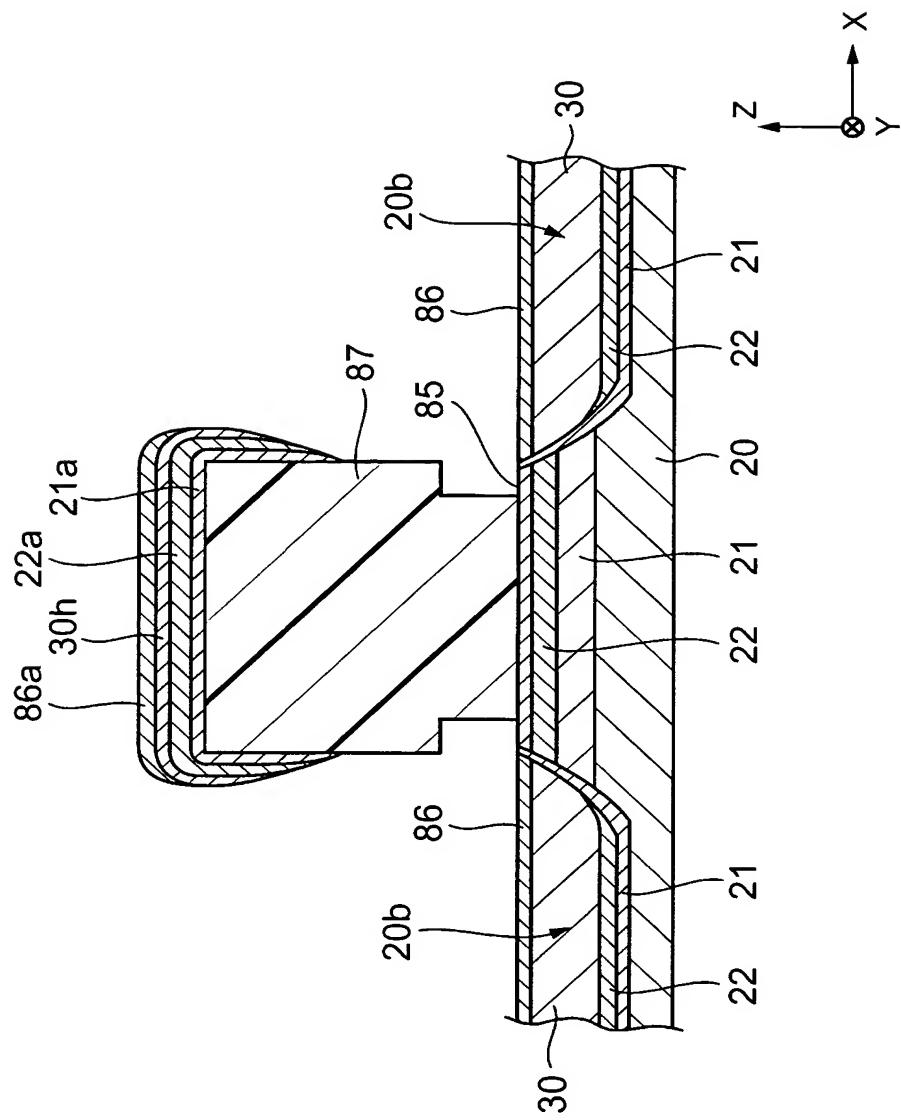
【図 34】



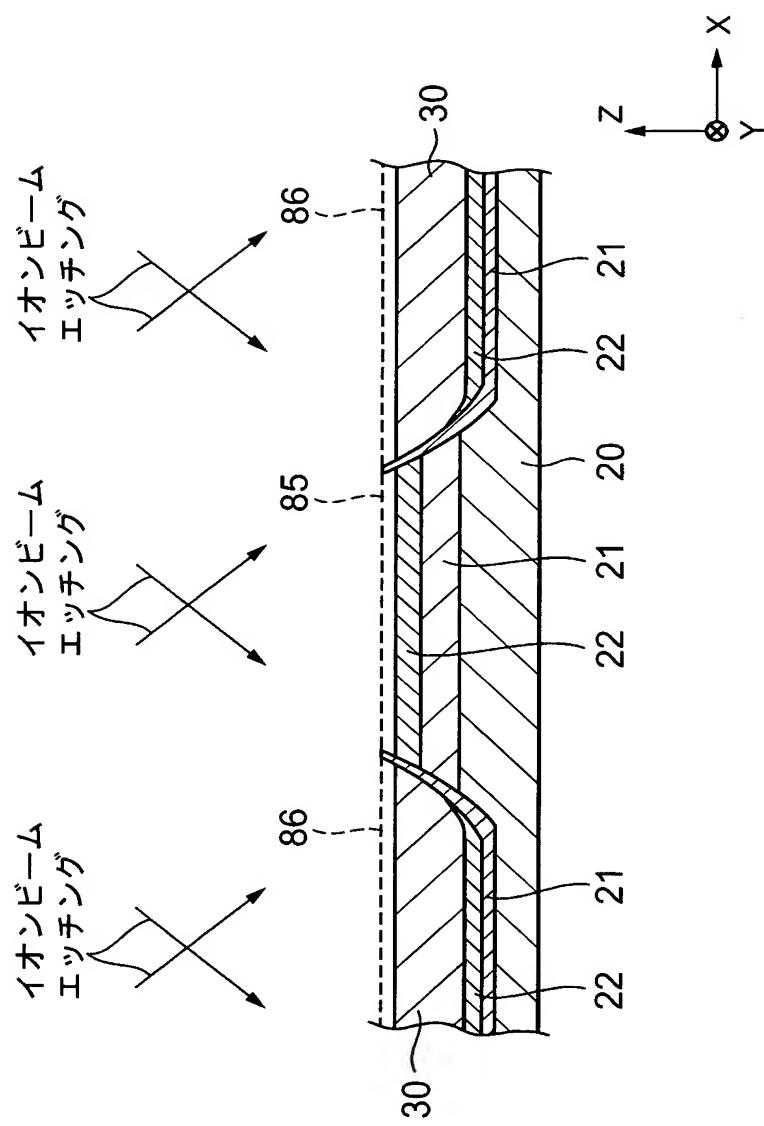
【図35】



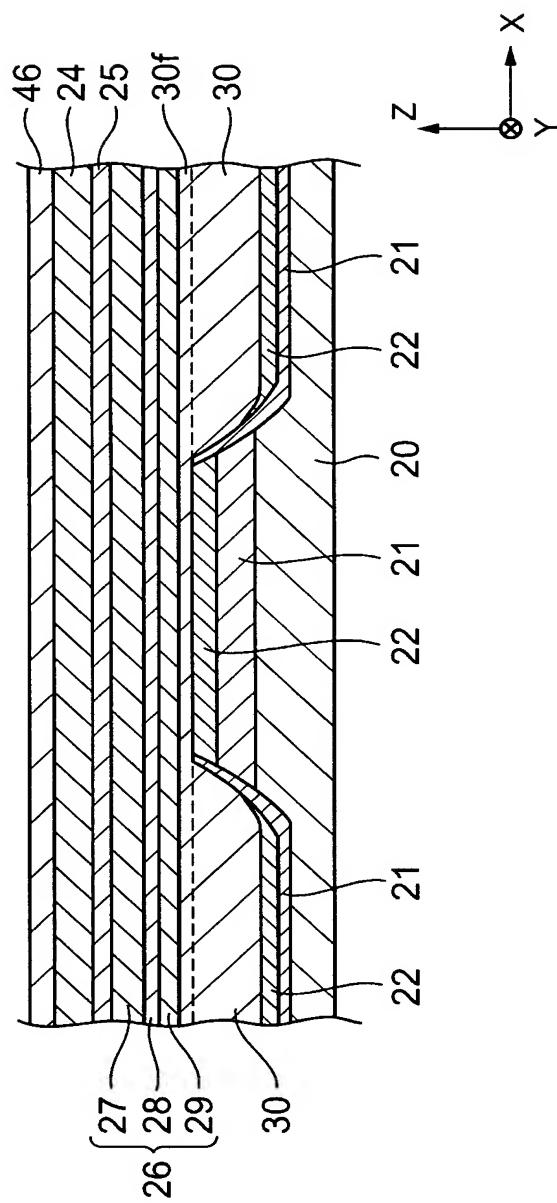
【図36】



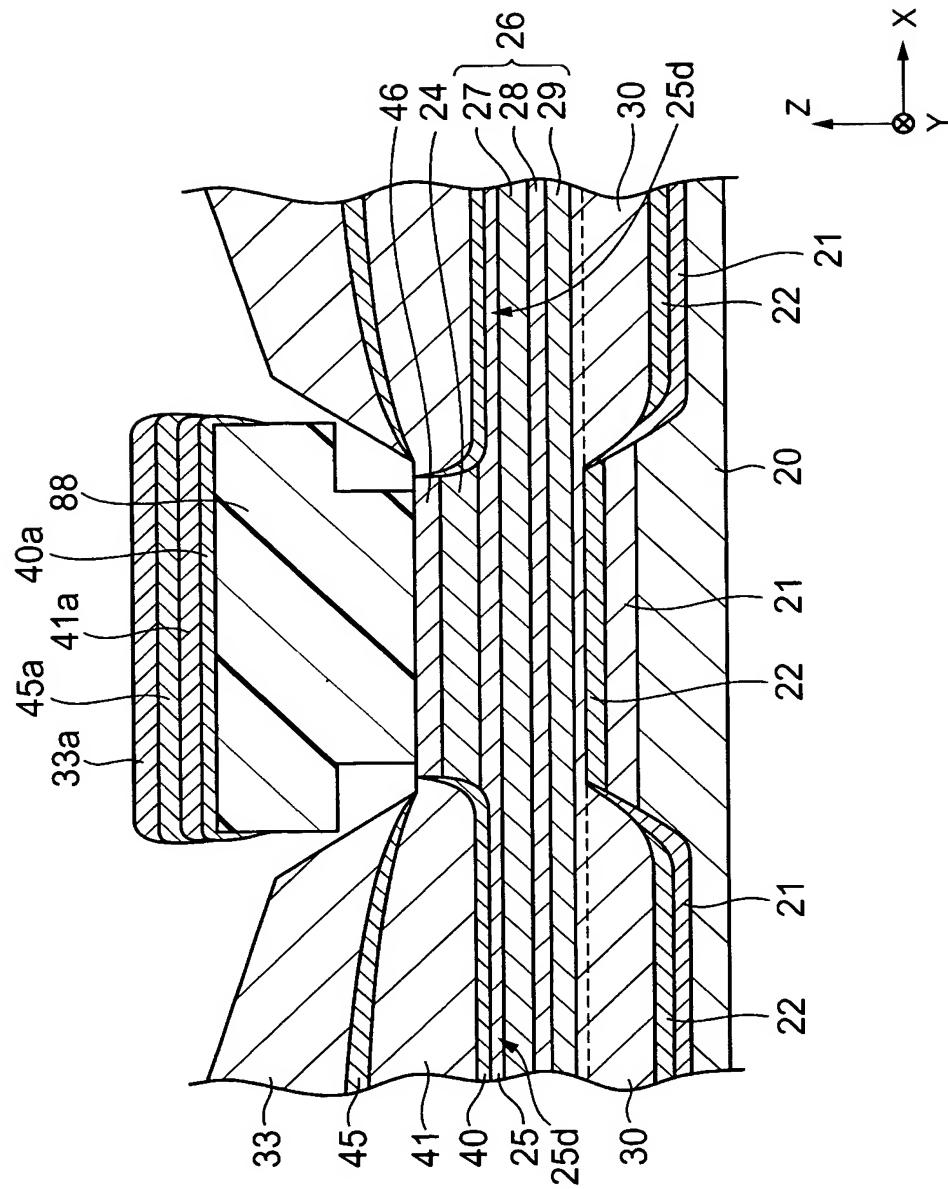
【図37】



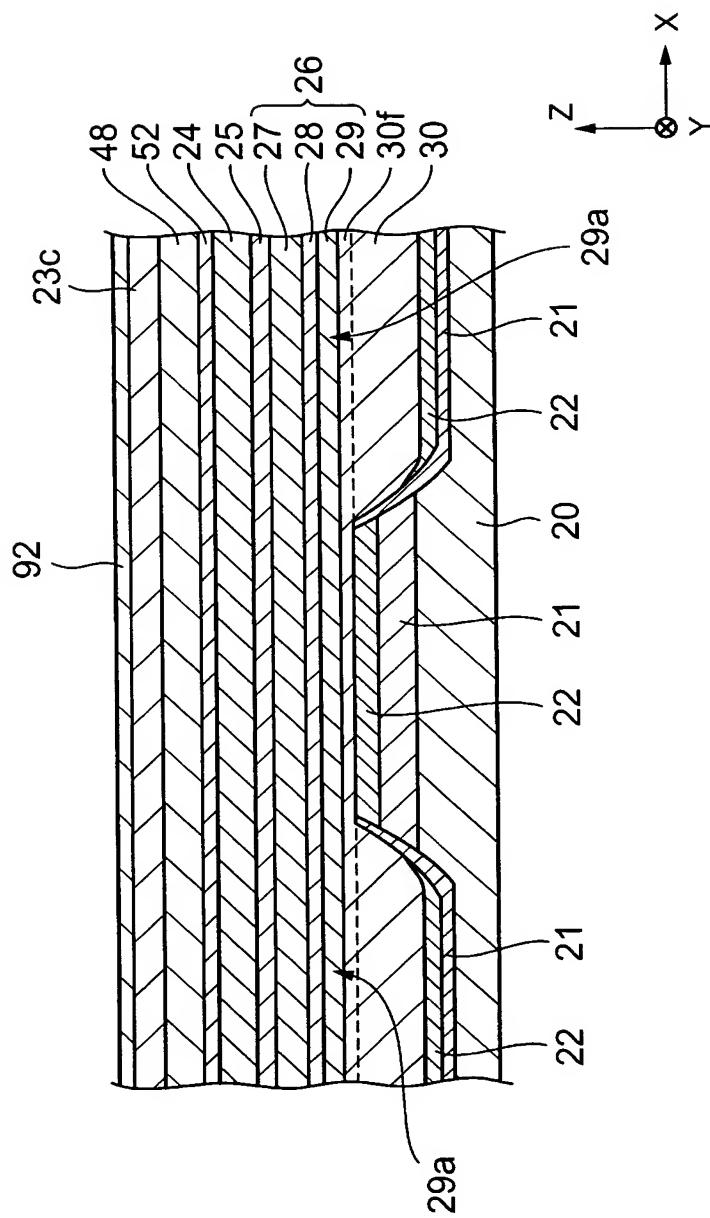
【図38】



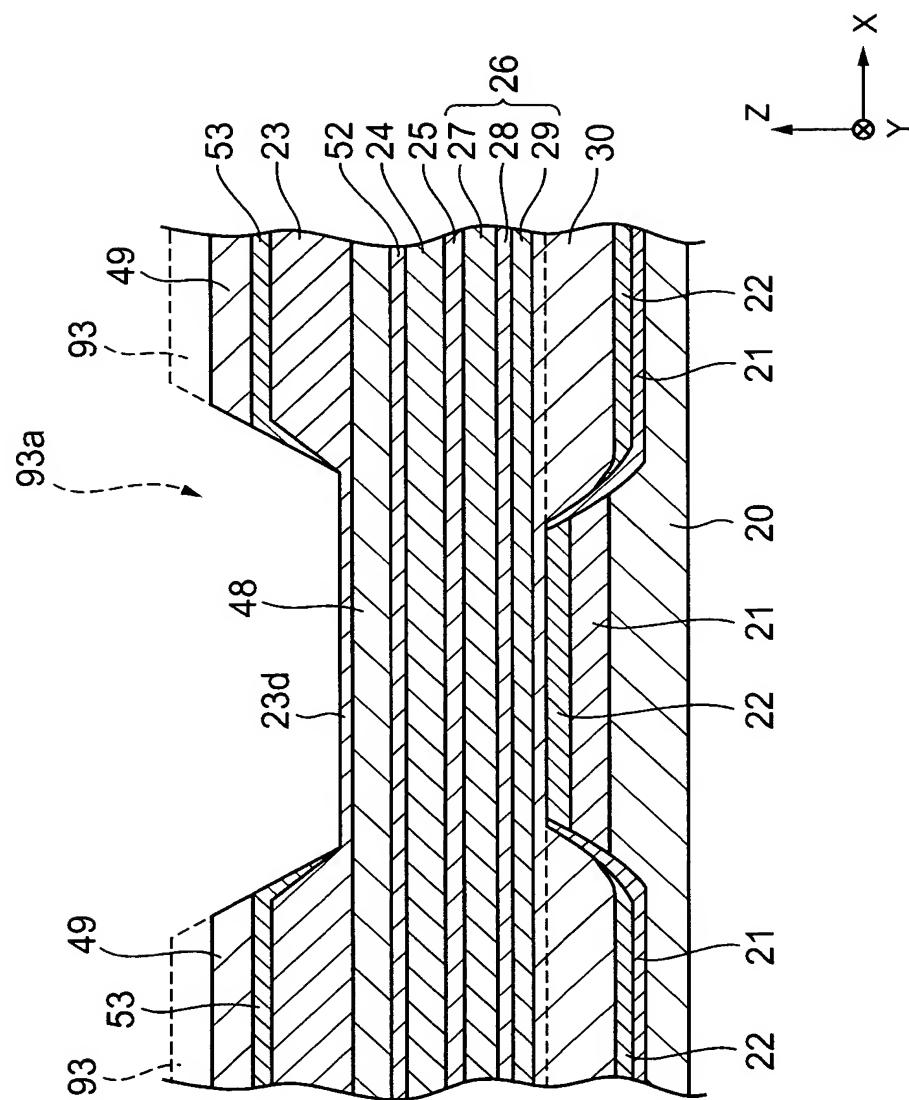
【図39】



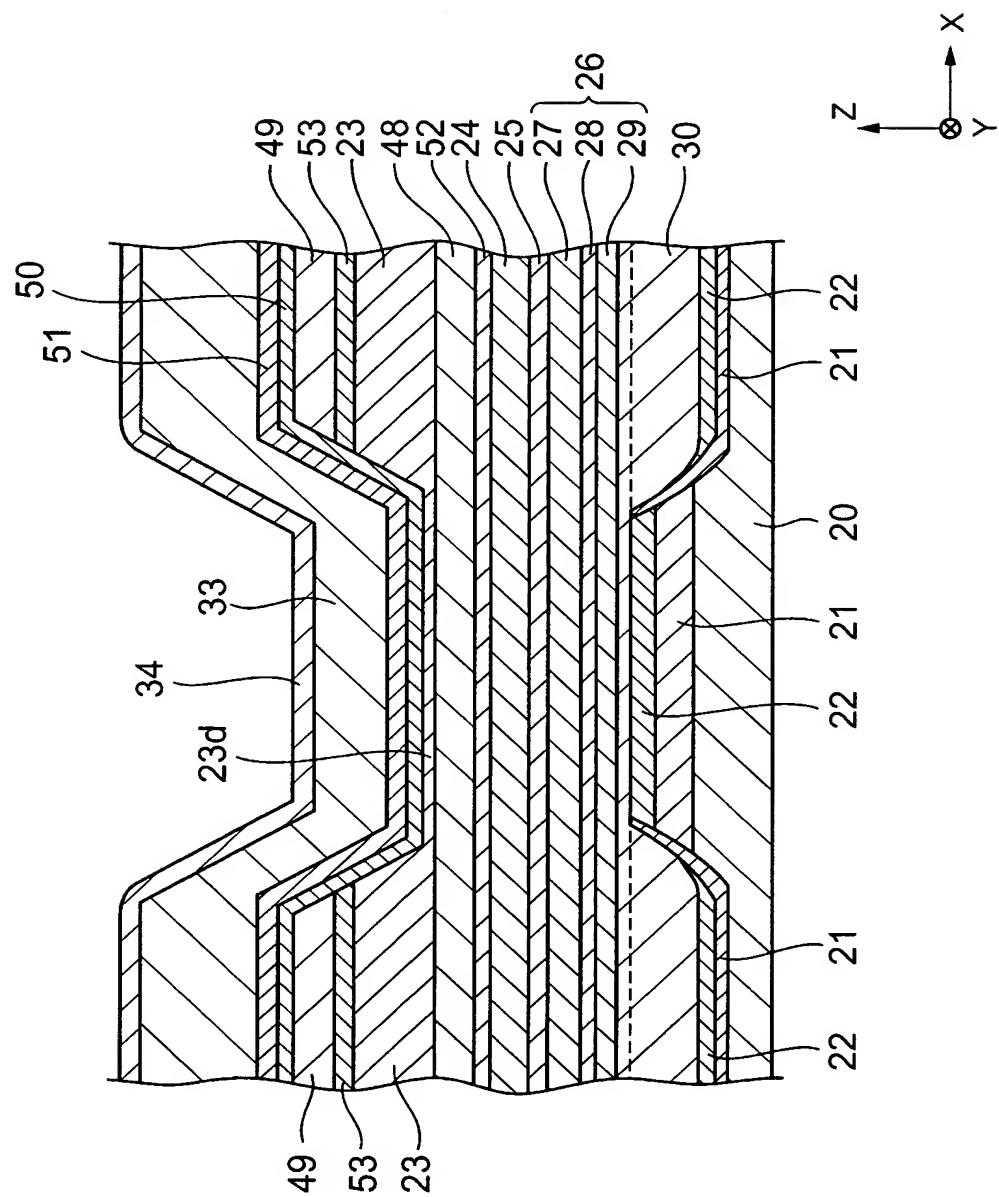
【図40】



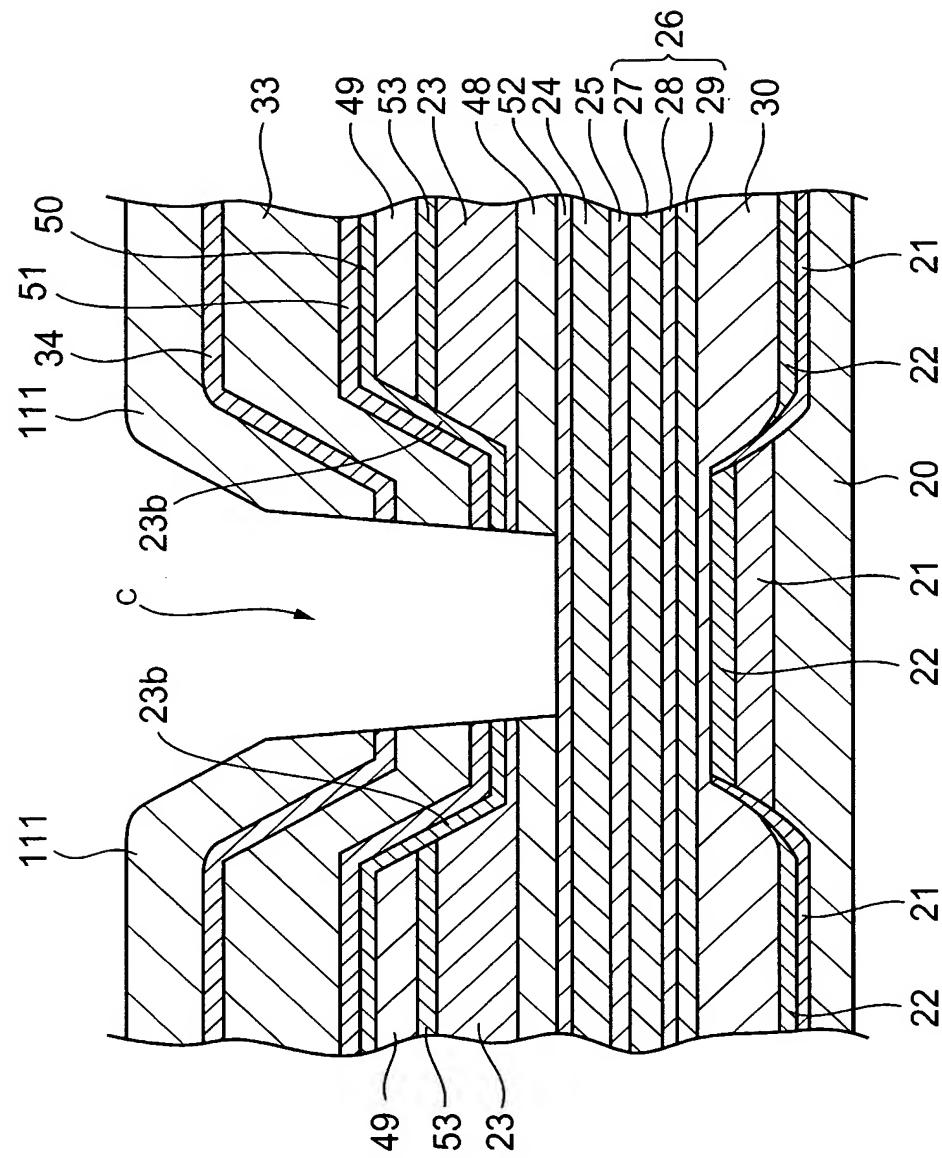
【図41】



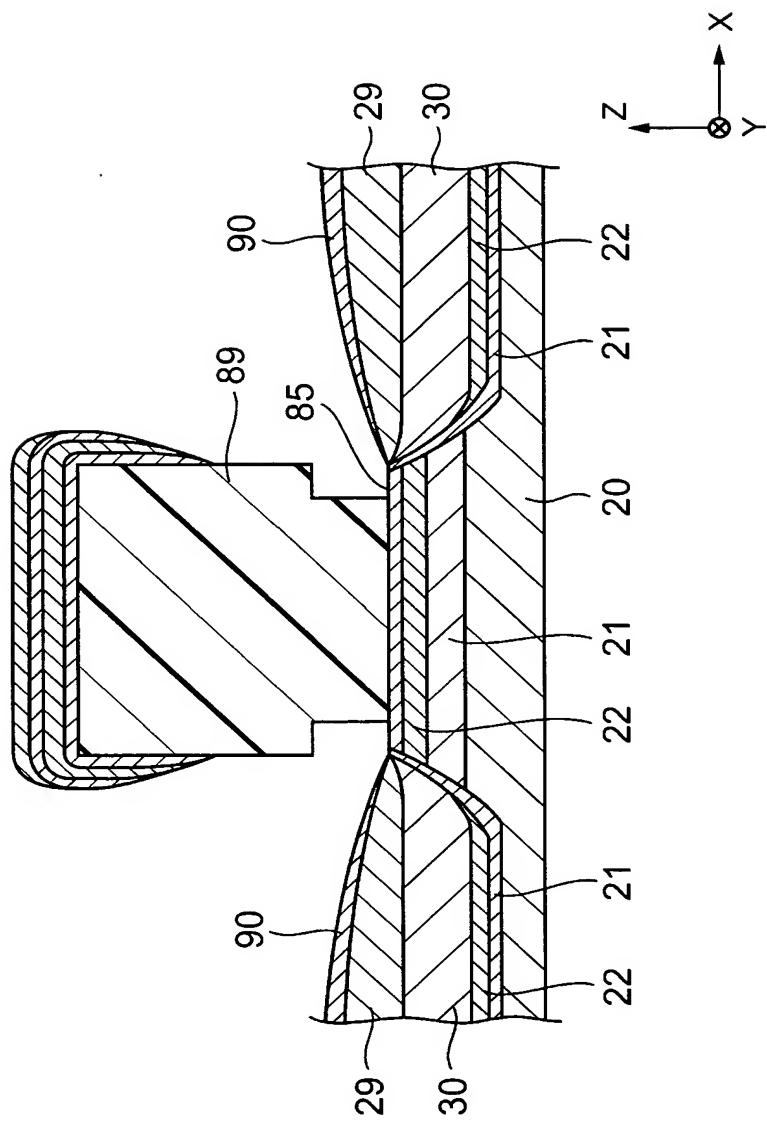
【図42】



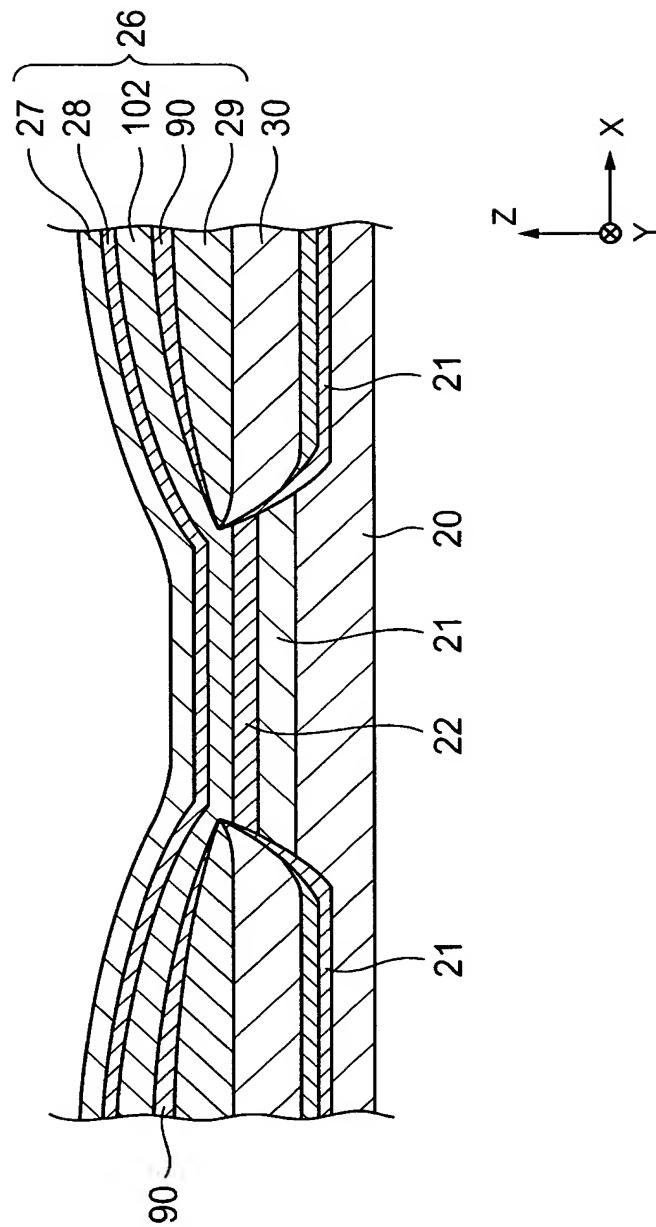
【図43】



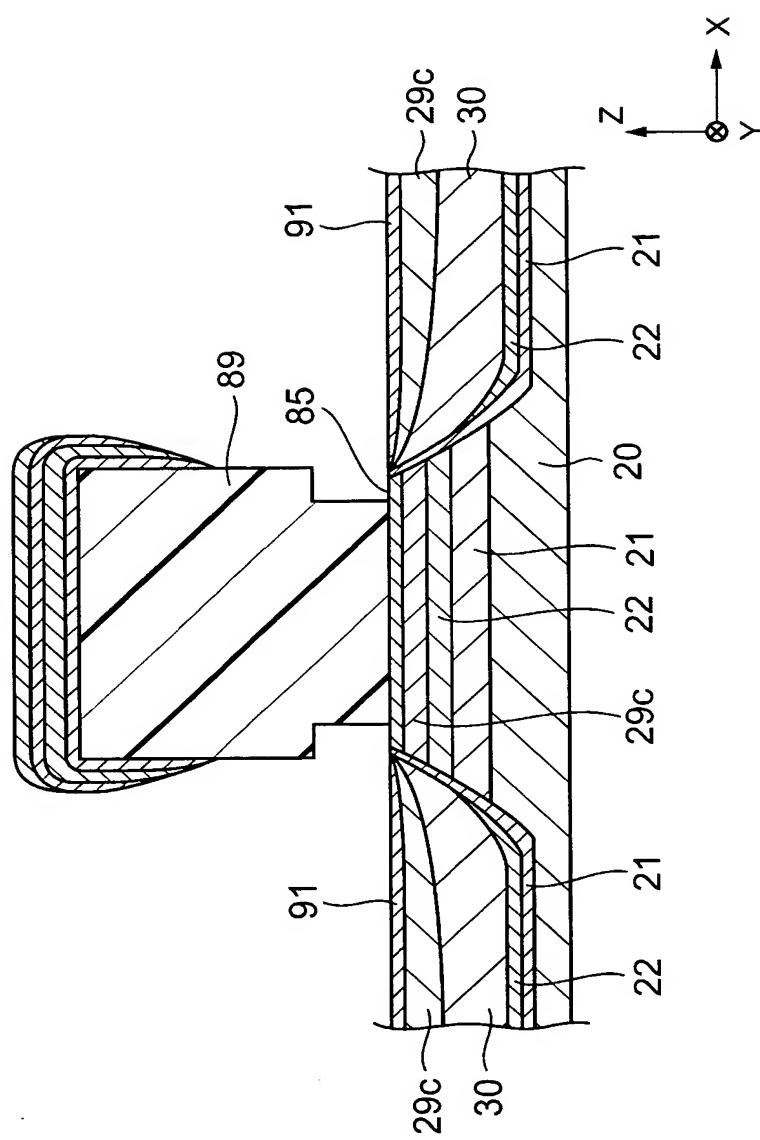
【図 4 4】



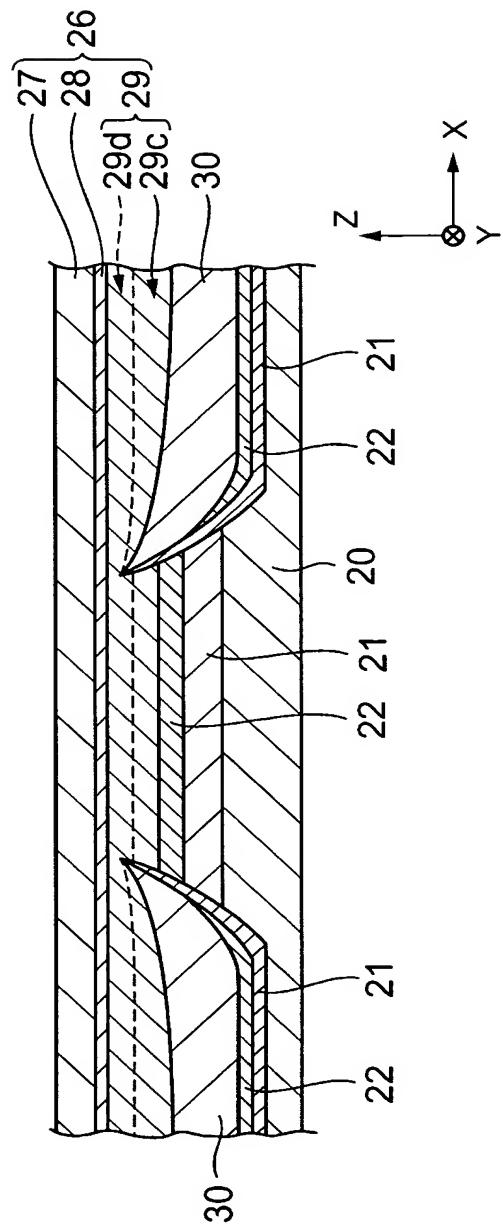
【図45】



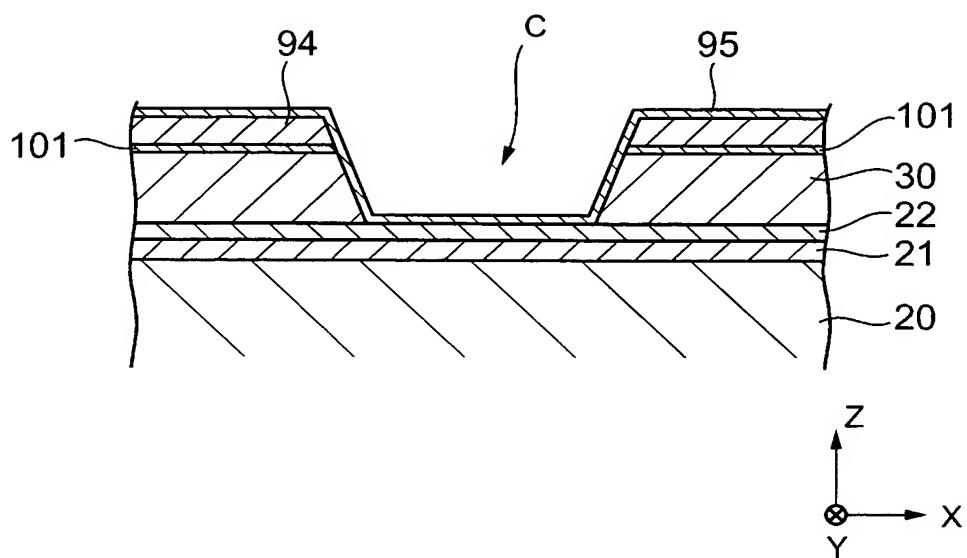
【図46】



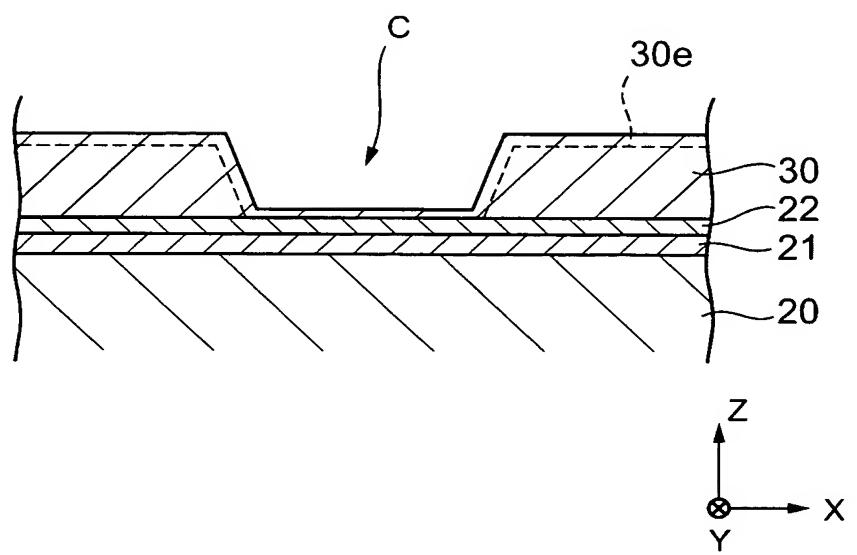
【図47】



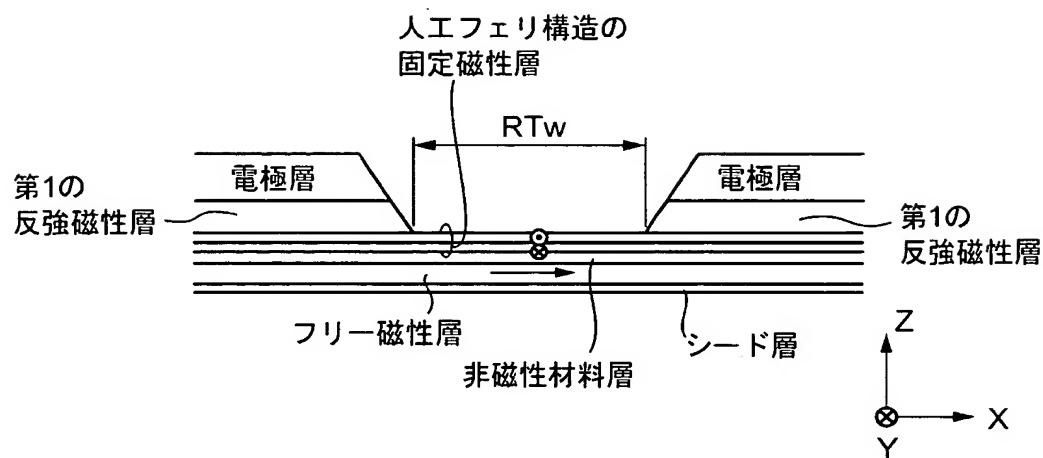
【図48】



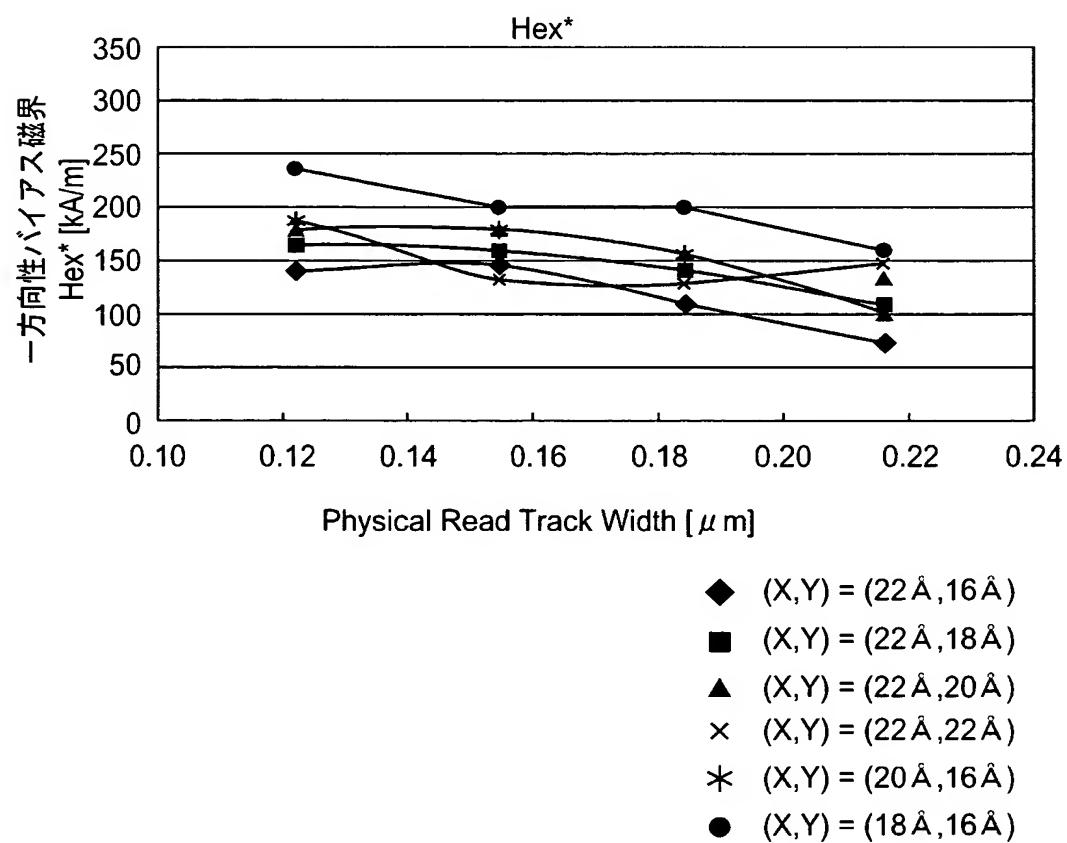
【図49】



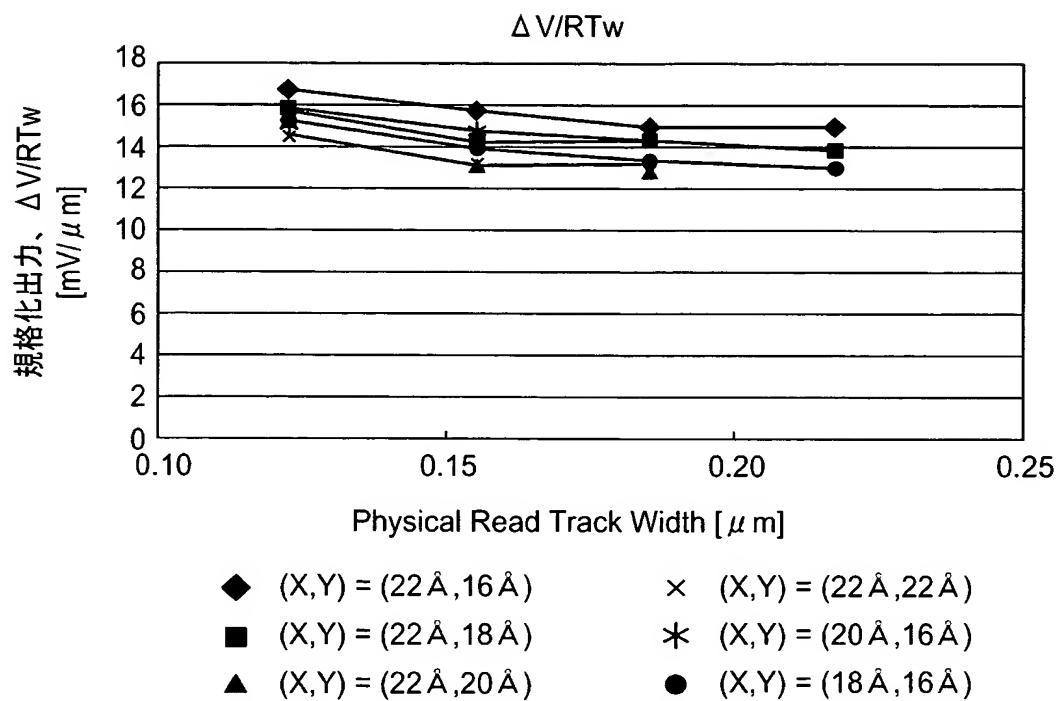
【図 5 0】



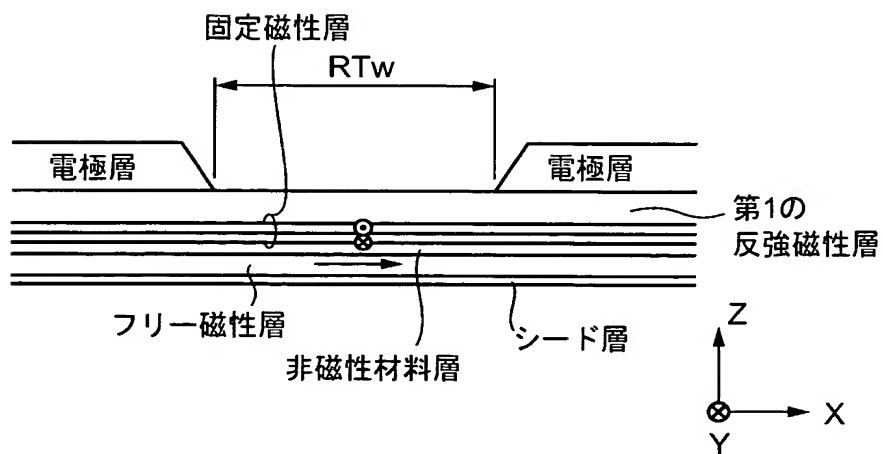
【図 5 1】



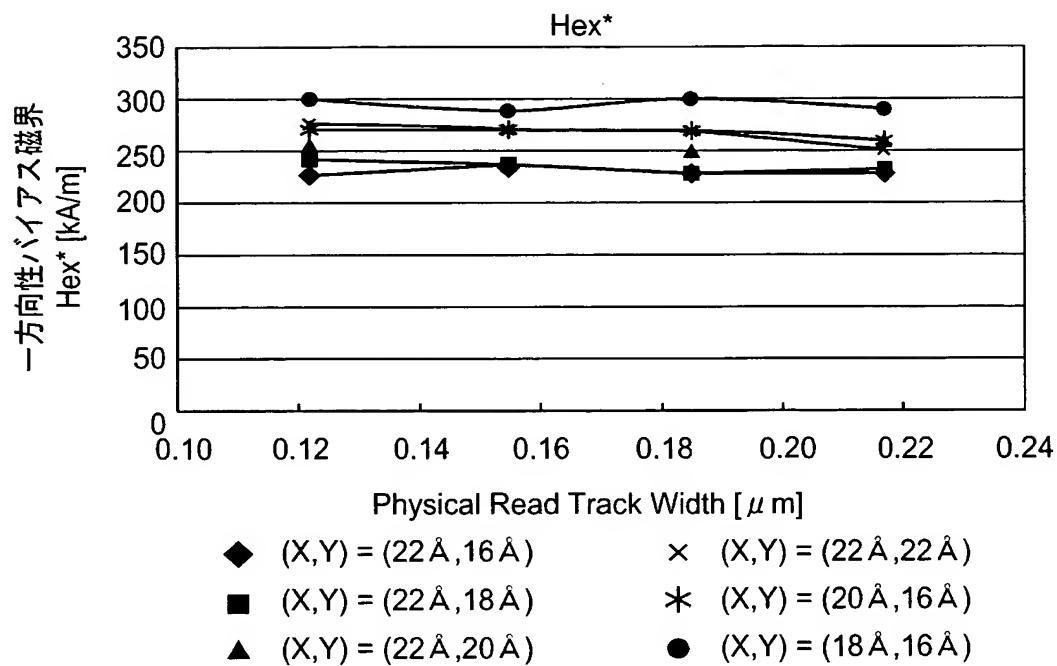
【図 5 2】



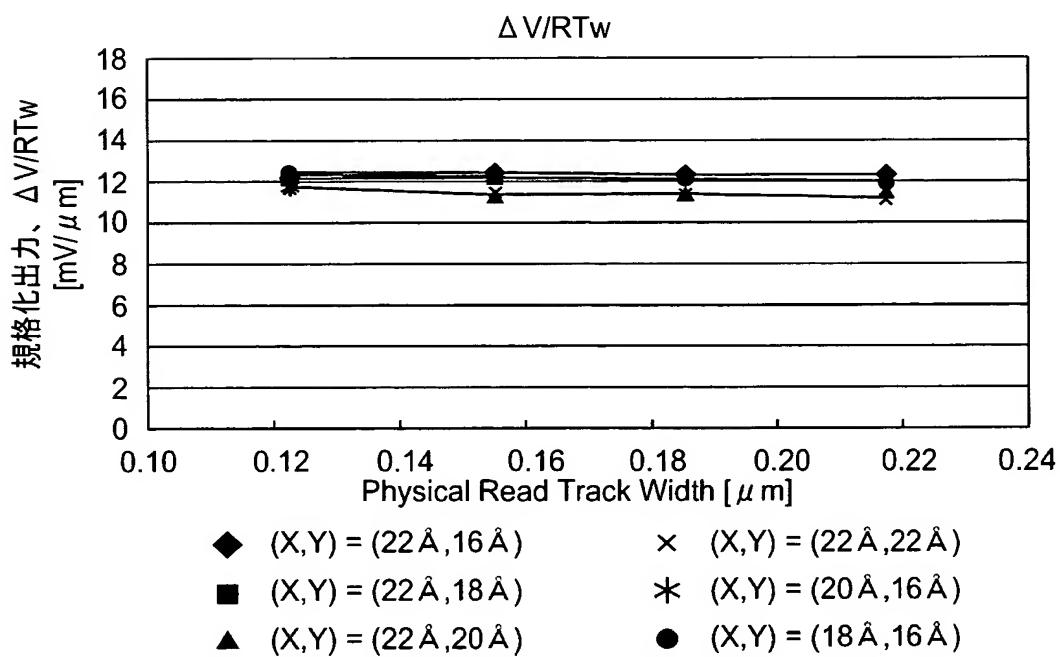
【図 5 3】



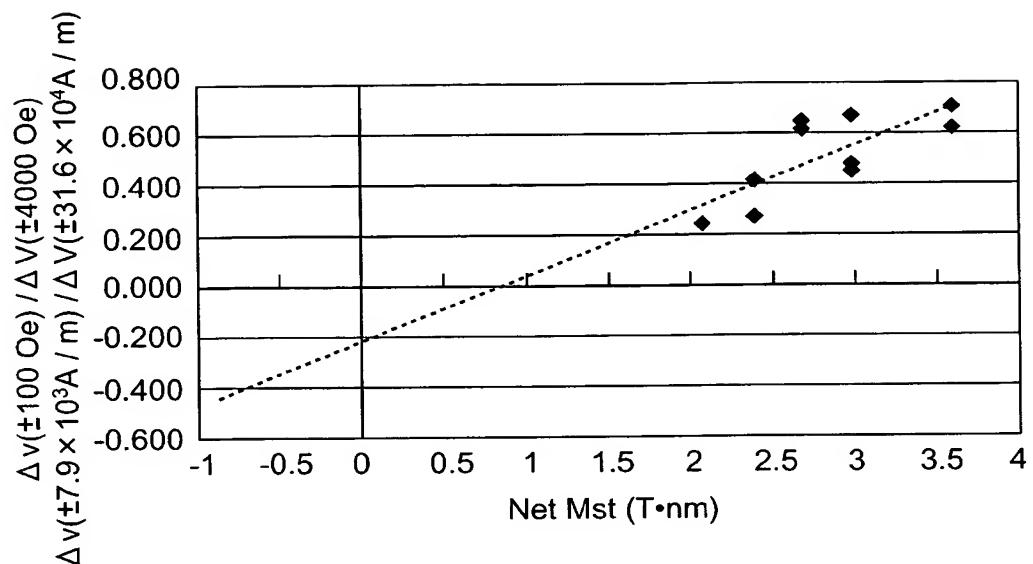
【図 5.4】



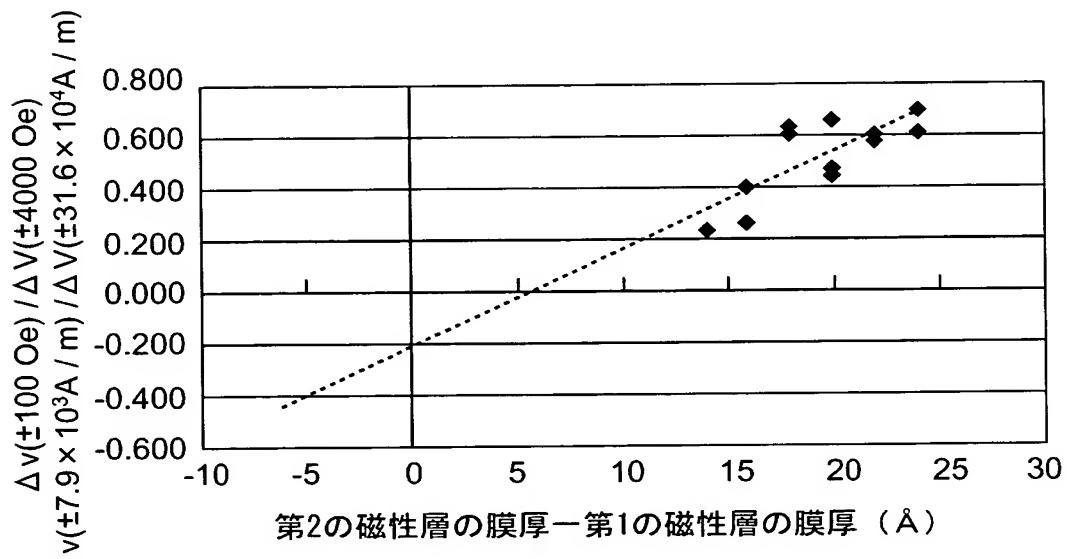
【図 5.5】



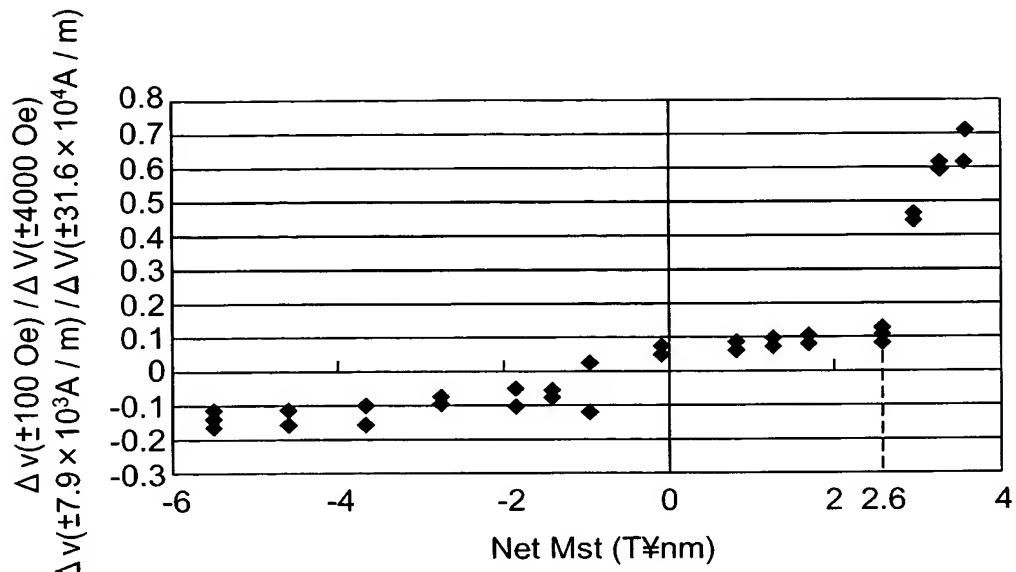
【図56】



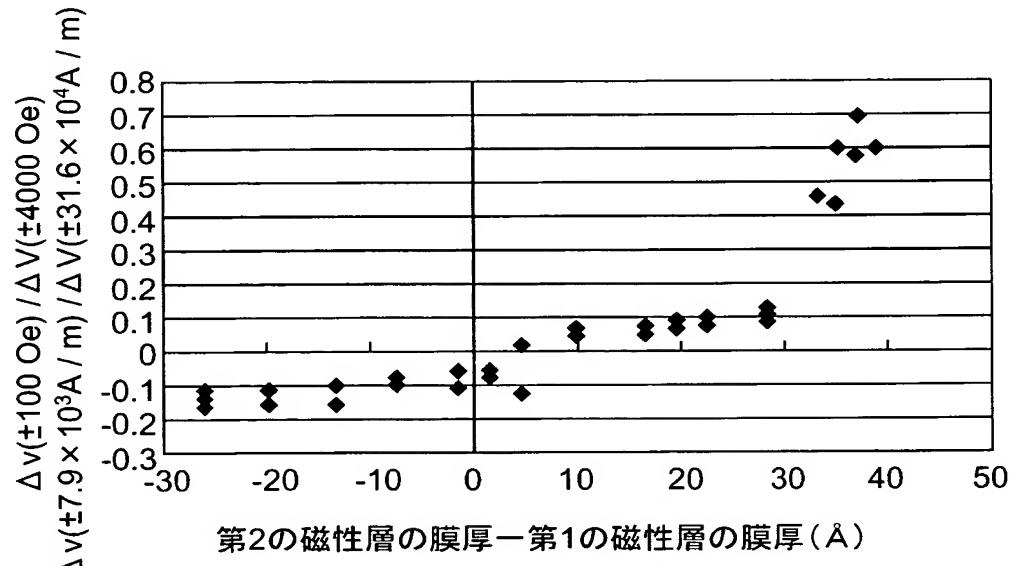
【図57】



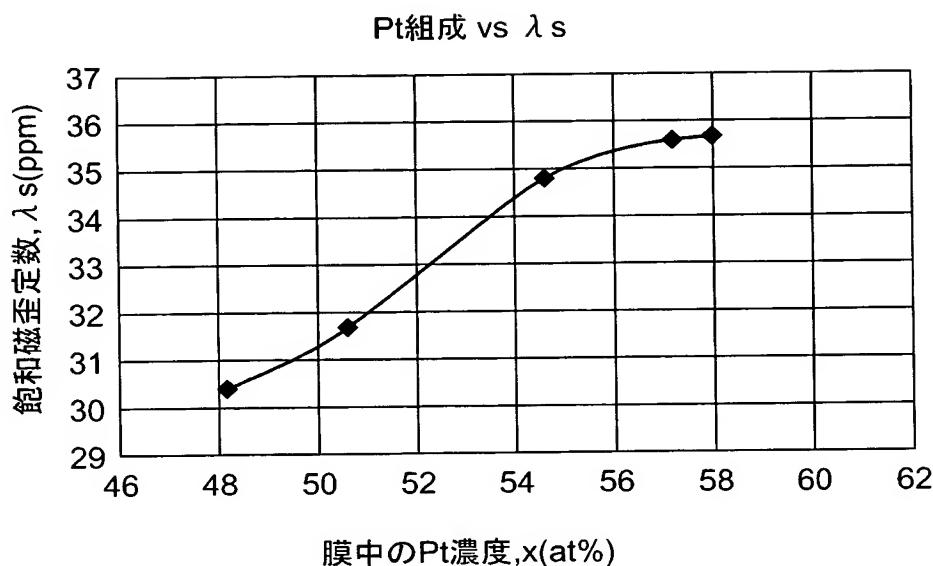
【図 5.8】



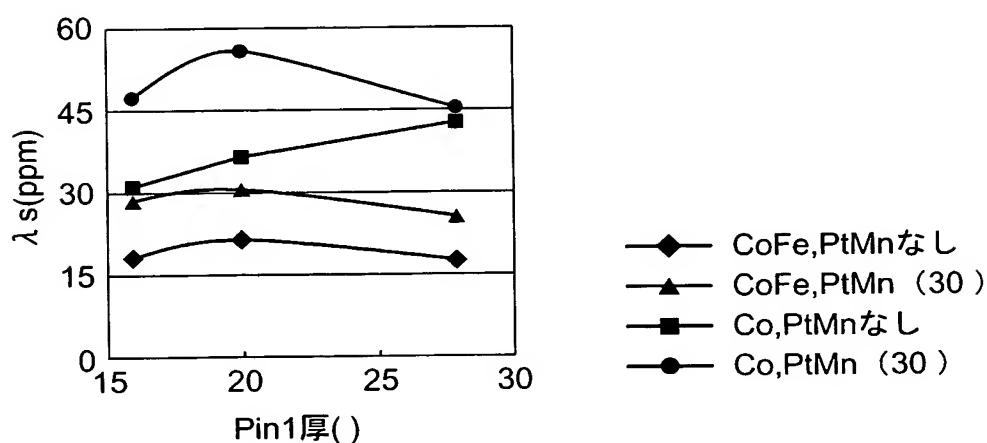
【図 5.9】



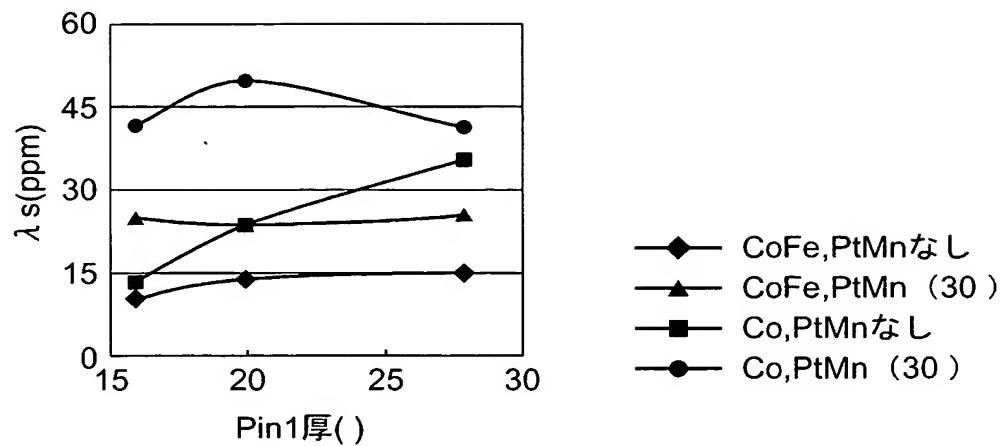
【図60】



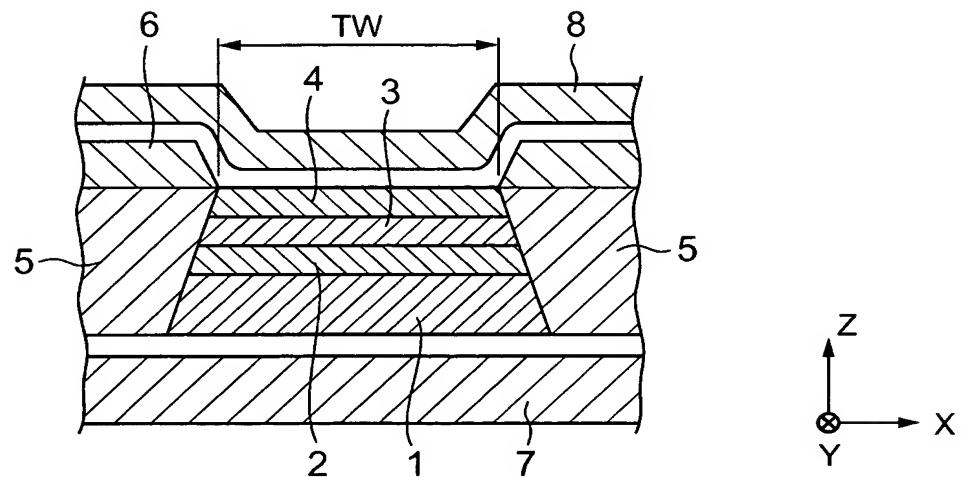
【図61】



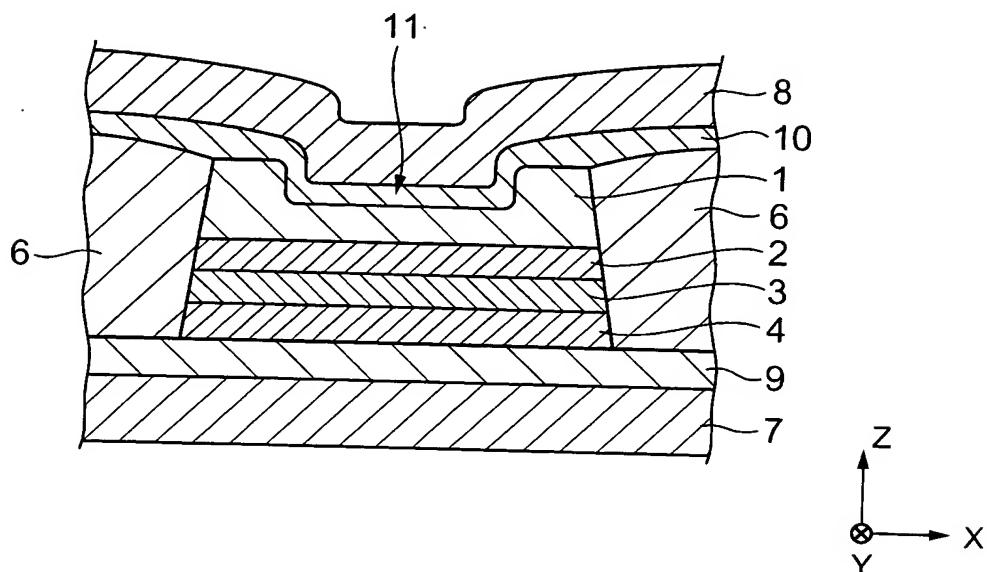
【図 6 2】



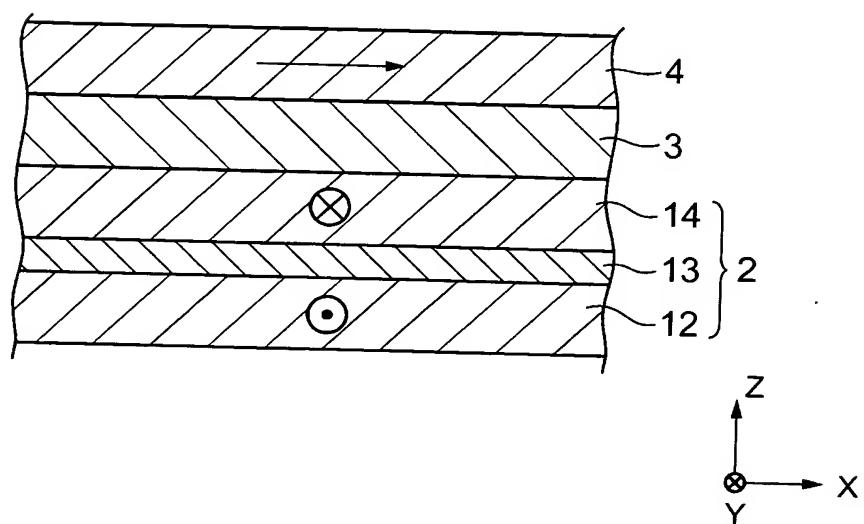
【図 6 3】



【図 6 4】



【図 6 5】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 特に固定磁性層と第1の反強磁性層との交換結合膜の構造を適正化することで、前記固定磁性層を適切に磁化固定できるとともに、再生出力の向上を図り、さらには狭ギャップ化等に適切に対応することができる磁気検出素子及びその製造方法を提供すること目的としている。

【解決手段】 固定磁性層26を、人工フェリ構造にし、前記第1の反強磁性層30間にトラック幅方向に所定の間隔Cを空け、交換結合磁界を、第1の磁性層29の両側端部29aと第1の反強磁性層30間でのみ生じさせることで、固定磁性層26の磁化固定を可能にできるとともに、再生出力を向上でき、狭ギャップ化を実現でき、さらに静電破壊(ESD)に強い磁気検出素子を製造することができる。よって今後の更なる高記録密度化に適切に対応可能な磁気検出素子を提供することができる。

【選択図】 図1

特願 2003-048716

出願人履歴情報

識別番号 [000010098]

1. 変更年月日 1990年 8月27日

[変更理由] 新規登録

住所 東京都大田区雪谷大塚町1番7号
氏名 アルプス電気株式会社